EESC USP
PROJETO REENGE

EXERCÍCIOS DE HIDRÁULICA BÁSICA

2ª Edição

RODRIGO DE MELO PORTO

1201030835

7
53e
d.

0.835

À Biblioteca da FEIS com os cumprimentos do autor

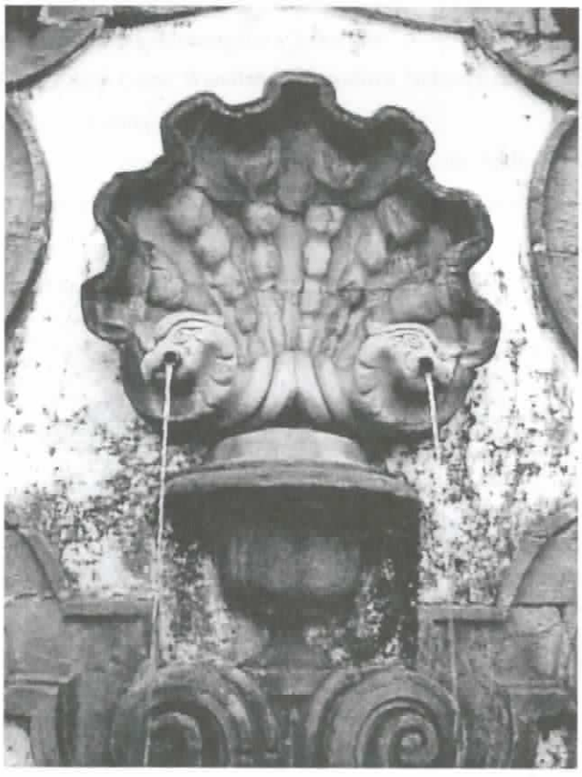
São Carlos, 13/11/09

EXERCÍCIOS DE HIDRÁULICA BÁSICA

2ª Edição

RODRIGO DE MELO PORTO

Departamento de Hidráulica e Saneamento
Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo



Publicação EESC-USP
São Carlos, SP
2009

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P853e.2

Porto, Rodrigo de Melo
Exercícios de hidráulica básica / Rodrigo de Melo Porto. -- 2. ed. -- São Carlos : EESC-USP, 2009.
[97] p. : il.
Inclui referências bibliográficas.
Projeto REENGE.

1. Hidráulica. 2. Condutos forçados. 3. Condutos livres. 4. Ensino. 5. Aprendizado. I. Título.

APRESENTAÇÃO

O conteúdo deste texto é resultado da reunião de problemas propostos em testes e provas, desde 1970, nos cursos de Hidráulica da UNICAMP, UFSCar e USP, bem como retirados e ou adaptados da literatura citada na bibliografia.

A formatação do material segue em conteúdo e disposição dos assuntos por capítulos, o livro "Hidráulica Básica" e pretende-se que este texto seja um complemento didático daquele.

Os exercícios foram selecionados para cobrir os principais aspectos do programa e são fornecidas as respostas de todos eles.

Quero fazer um agradecimento a todos que contribuíram para a produção deste material, como os colegas Edson Cezar Wendland e Woodrow Nelson Lopes Roma, e o trabalho dedicado do desenhista Valdecir Arruda.

Agradecimento especial ao mestrando André Luiz Andrade Simões pela propositura de exercícios nos capítulos 9, 11 e 13, bem como pela revisão do texto relativo aos condutos livres.

Com este material espero um melhor desempenho na apresentação e desenvolvimento do curso, e no acompanhamento por parte dos alunos.

São Carlos, outubro de 2007.

1201030835

CONSULTA

NRD 280/09

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"
SERVIÇO TÉC. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO

DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
18/11/09	30/11/09
REGISTRADO POR	TOMBO
Neide	30.835
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Doação do Autor R$ 10,00	627 P853e 2.ed.

Co
sys: 600429

SUMÁRIO

CONCEITOS BÁSICOS.....1

ESCOAMENTO UNIFORME EM TUBULAÇÕES.....6

PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS.....13

SISTEMAS HIDRÁULICOS DE TUBULAÇÕES.....21

SISTEMAS ELEVATÓRIOS – CAVITAÇÃO.....31

REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....48

ESCOAMENTO EM SUPERFÍCIE LIVRE.....51

CANAIS - ESCOAMENTO PERMANENTE E UNIFORME.....54

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE CANAIS.....59

ENERGIA OU CARGA ESPECÍFICA.....64

RESSALTO HIDRÁULICO.....71

ORIFÍCIOS – TUBOS CURTOS – VERTEDORES.....76

ESCOAMENTO PERMANENTE GRADUALMENTE VARIADO.....83

BIBLIOGRAFIA.....88

CAPÍTULO 1 – CONCEITOS BÁSICOS

1.1 – A vazão Q que escoa sobre um vertedor retangular de parede fina é função do comprimento L da soleira do vertedor, da elevação (carga) H da água a montante do vertedor, medida acima da soleira (crista) e da aceleração da gravidade g. Desprezando a influência da tensão superficial, da viscosidade da água e da velocidade de aproximação do escoamento mostre, usando o teorema dos Πs, que a vazão pode ser expressa por:

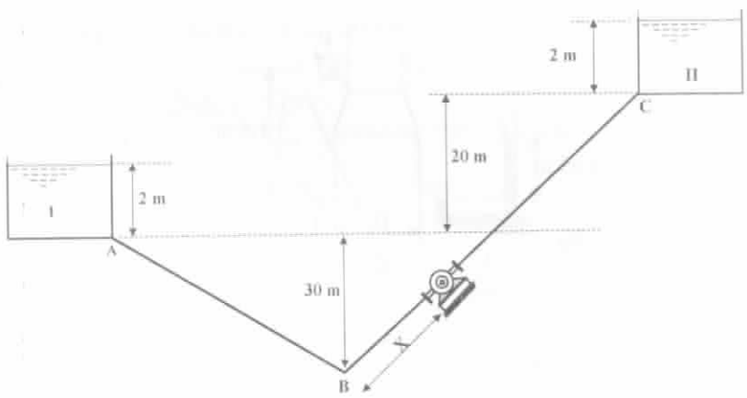
$$[Q = \sqrt{g}\, H^{5/2}\ \Phi\left(\frac{L}{H}\right)]$$

1.2 – O conjugado T desenvolvido por uma turbina hidráulica, depende da vazão Q, da altura de queda H, do peso específico da água γ, da velocidade angular do rotor ω e do rendimento η. Determine usando o teorema dos Πs a equação de dependência do conjugado.

$$[T = \gamma H^4\, \Phi\left(\frac{\omega H^3}{Q},\ \eta\right)]$$

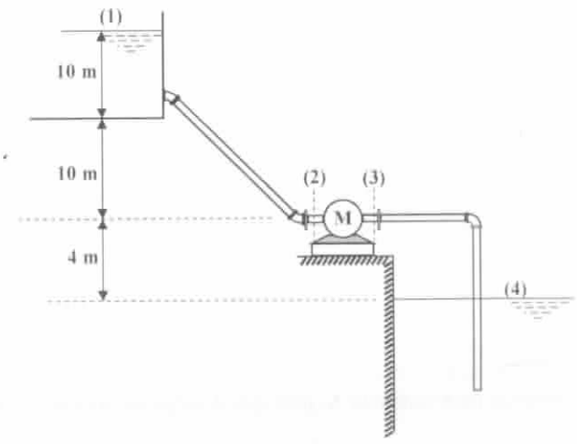
1.3 – O esquema indica o transporte de 60 L/s de água do reservatório I para o reservatório II, através de uma tubulação de 200 mm de diâmetro. Com os dados da figura, determinar:
a) a posição da bomba, definida pela distância **X**, para que a carga de pressão imediatamente a sua montante seja 0,90 mH_2O.
b) a potência da bomba em c.v admitindo um rendimento de 80%.
c) traçar mais ou menos em escala, a linha piezométrica indicando os valores das cargas de pressão no ponto B e imediatamente a montante e a jusante da bomba.
A perda de carga por metro de tubulação (perda unitária) é dada por $J = 0{,}1\ V^2/2g$ (m/m).
Despreze as perdas de carga localizadas e considere a carga cinética.
Dados: $L_{AB} = 500$ m, $L_{BC} = 1000$ m.

a) [X = 315 m]; b) [Pot ≅ 48 c.v]; c) [$P_B/\gamma = 22{,}51$ m; $P_m/\gamma = 0{,}90$ m; $P_j/\gamma = 48{,}81$ m]



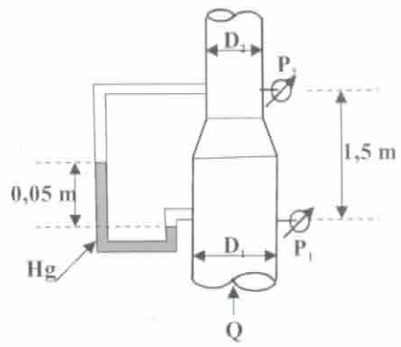
1.4 – No esquema mostrado na figura a pressão na seção (2) é 205,80 kPa e a perda de carga total entre as seções (1) e (4) é 2,0 m, a vazão é 10 L/s e a área da seção reta das duas tubulações é 100 cm^2. Os reservatórios estão em níveis constantes. Determinar:
a) O sentido de escoamento
b) O tipo de máquina hidráulica (bomba ou turbina)
c) A potência da máquina em c.v se seu rendimento é de 70%
Dado: $\gamma H_2O = 9{,}8x10^3\ N/m^3$

a) [escoamento de 4 para 1]; b) [Bomba]; c) [Pot = 4,95 c.v]



1.5 – Determine a vazão de gasolina, densidade relativa 0,82, através da linha de tubos mostrada na figura, primeiro usando as leituras nos manômetros e depois usando a leitura do manômetro diferencial que contém mercúrio. Despreze as perdas de energia. Dados: $D_1 = 0{,}30$ m, $D_2 = 0{,}25$ m, $P_1 = 112$ kPa, $P_2 = 93{,}68$ kPa e densidade relativa do mercúrio 13,6.

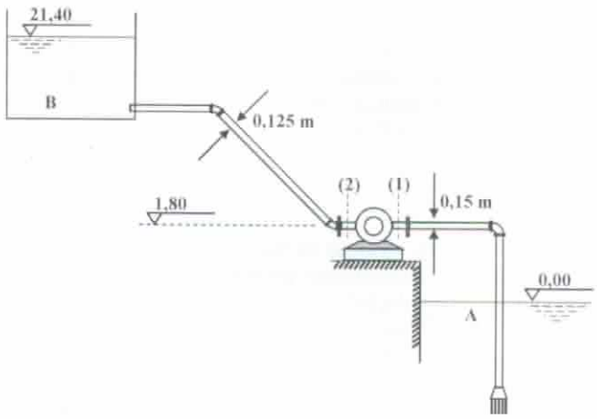
[$Q = 0{,}266\ m^3/s$]



1.6 – Uma bomba eleva água do reservatório A para o reservatório B, com na figura. A perda de carga total entre A e 1 é igual a 7 vezes a carga cinética do conduto A1 de sucção e a perda de carga total entre 2 e B é igual a 25 vezes a carga cinética do conduto 2B de recalque. Admitindo um

rendimento de 80% determine a potência fornecida pela bomba quando a vazão for 30,0 L/s e as cargas de pressão nos pontos 1 e 2.

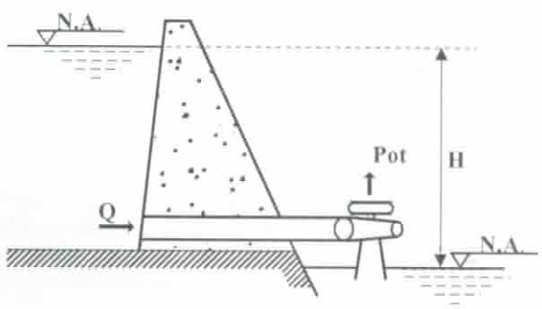
[Pot = 15 c.v; P_1/γ = -2,98 mH_2O; P_2/γ = 26,92 mH_2O]



1.7 - Numa tubulação de 300 mm de diâmetro, água escoa em uma extensão de 300 m, ligando um ponto A, na cota topográfica de 90,0 m, no qual a pressão interna é 275 kN/m^2, a um ponto B na cota topográfica 75,0 m, no qual a pressão interna é 345 kN/m^2. Calcule a perda de carga entre A e B, o sentido do escoamento e a tensão de cisalhamento na parede do tubo. Se a vazão for igual a 0,14 m^3/s, calcule o fator de atrito da tubulação e a velocidade de atrito.

[ΔH_{AB} = 7,86 m; escoamento de A para B; τ = 19,25 N/m^2; f = 0,0398; u_* = 0,14 m/s]

1.8 – Considere uma turbina extraindo energia através de um conduto forçado em uma barragem, como na figura, em que H é a queda bruta. Para escoamento turbulento em dutos a perda de carga por atrito pode ser posta como $\Delta H = kQ^2$ em que a constante k depende das dimensões e material do conduto e das propriedades da água. Mostre que, para uma dada geometria do conduto forçado e a vazão variável Q do rio, a máxima potência possível da turbina neste caso é $P_{max} = 2\rho gHQ/3$ e ocorre quando a vazão é $Q = [H/3k]^{1/2}$. Assuma o rendimento da turbina 100%.



1.9 - Em um escoamento laminar em um tubo de raio R, determine o valor de y/R, em que y é medido a partir da parede, do ponto onde a velocidade iguala a velocidade média na seção. Lembre que o perfil de velocidade é dado por $V = v_{max}\left[1-(r/R)^2\right]$, que $y = R - r$ e que a velocidade média é metade da máxima.

[y/R = 0,293]

1.10 – Que relação deve haver entre o diâmetro D de um círculo e o lado L de um triângulo equilátero, de modo que as duas seções tenham o mesmo raio hidráulico.

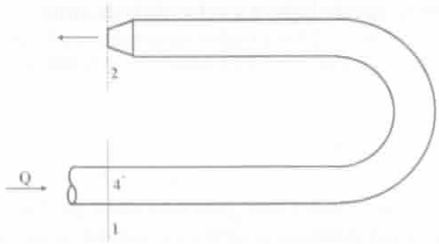
$[D = \frac{L\sqrt{3}}{3}]$

1.11 – No projeto de uma tubulação de recalque de um sistema elevatório, de 4" de diâmetro, foi especificado que a máxima tensão de cisalhamento permitida na parede do tubo é 7,35 N/m^2. Qual a máxima perda de carga unitária na tubulação?

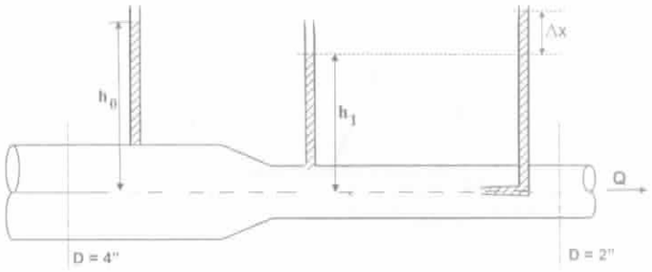
[J = 3 m/100 m]

1.12 - A tubulação circular mostrada na figura, com 4" de diâmetro, está em um plano horizontal e é percorrida por uma vazão de água de 10 L/s, como conduto forçado. Na seção 2, (bocal) com diâmetro de 2", a vazão sai como um jato livre. Usando o teorema da quantidade de movimento e desprezando as perdas de carga entre as seções 1 e 2, determine a força exercida pela água sobre a curva.

[F = 158,7 N]



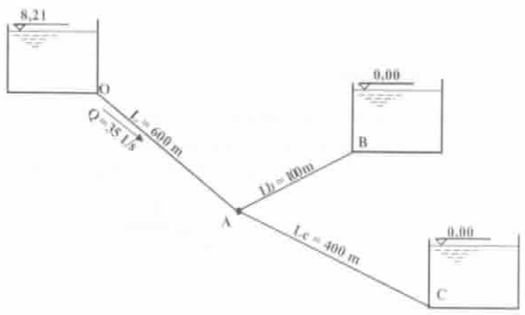
1.13 – Para se determinar a perda de carga localizada em uma redução concêntrica de 4" para 2" de diâmetro, foram instalados na canalização dois piezômetros e um tubo de Pitot, como na figura. Com os dados do esquema, mostre que essa perda de carga é dada por: $\Delta h = (h_0 - h_1) - \frac{15}{16}\Delta x$



CAPÍTULO 2 – ESCOAMENTO UNIFORME EM TUBULAÇÕES

2.1 – O reservatório (1) abastece os reservatórios B e C com uma vazão de 35 L/s. No ponto A existe uma bifurcação com duas tubulações horizontais de diâmetros iguais a 6" e comprimentos iguais a 100 m e 400 m. As alturas d'água nos reservatórios B e C são iguais a 2 m. Com os dados da figura, determinar as vazões nas tubulações AB e AC, bem como o diâmetro da tubulação OA. Use a equação de Hazen-Williams. Todas as tubulações têm C = 120. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas.

[Q_{AC} = 11,23 L/s; Q_{AB} = 23,77 L/s; D_{OA} = 8"]



2.2 – No projeto de uma tubulação de aço laminado revestido de asfalto, de 6" de diâmetro, trabalhando como conduto forçado, por algum motivo técnico a tensão de cisalhamento na parede do tubo não pode ultrapassar o valor de 0,00566 kPa. Qual a máxima vazão de água que pode ser veiculada?

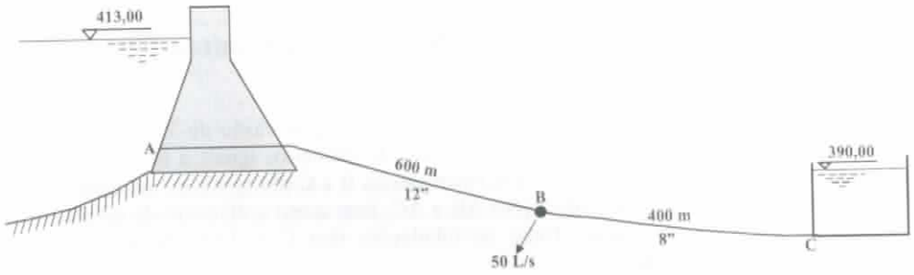
[Q = 28,27 L/s]

2.3 - Uma tubulação cuja seção reta é um triângulo eqüilátero de 0,20 m de lado, transporta água, como conduto forçado e a tensão média de cisalhamento nas paredes vale τ_0 = 6,0 Pa. Sendo a vazão transportada igual a 26 L/s, determine o fator de atrito f da tubulação. Utilizando o diagrama de Moody classifique o tipo de escoamento, determine a rugosidade absoluta do material e o número de Reynolds de rugosidade. Viscosidade da água 10^{-6} m^2/s.

[f = 0,021; escoamento turbulento de transição; ε = 0,104 mm; Rey^* = 8,06]

2.4 – A alimentação de um reservatório de distribuição de água de uma cidade é feita a partir de uma represa mantida na cota 413,00 m. A adutora, em cimento amianto C = 130 é constituída de dois trechos, o primeiro de 600 m de comprimento e 12" de diâmetro e o segundo com 400 m de comprimento e 8" de diâmetro. Na junção dos dois trechos existe uma sangria de 50 L/s para um abastecimento industrial. Determine a vazão de saída da represa e a de chegada no reservatório, bem como a cota piezométrica no ponto B. Despreze as perdas de carga localizadas e as cargas cinéticas na adutora. Utilize a equação de Hazen-Williams.

[Q = 0,141 m^3/s; C.P = 405,64 m]

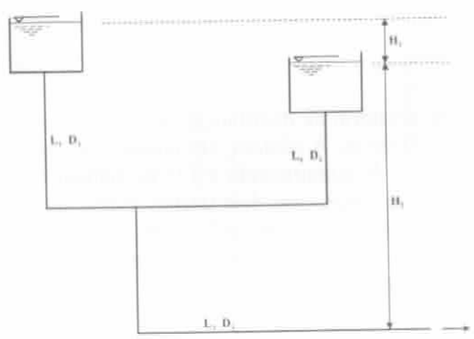


2.5 - O escoamento de água como conduto forçado é feito através de uma tubulação de 4" de diâmetro, em aço soldado revestido de cimento centrifugado, conforme a figura. Sendo o número de Reynolds de rugosidade do escoamento igual a 8,8, determine o fator de atrito, a vazão e a pressão disponível na seção B. Dados: comprimento L_{AB} = 250 m, cota topográfica de A igual a 813,25 m e de B igual a 830,04 m, pressão disponível na seção A igual a 362,60 kPa. Viscosidade cinemática da água $\nu = 10^{-6}$ m^2/s.

[f = 0,0214; Q = 13,35 L/s; P_B = 120,64 kPa]

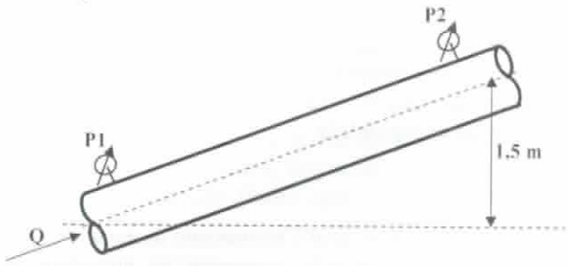
2.6 - O sistema de tubulações mostrado na figura tem a seguinte geometria: L_1 = 200 m, L_2 = 100 m, L_3 = 150 m, D_1 = D_3 = 100 mm, D_2 = 80 mm, H_1 = 3 m, H_2 = 7 m. Todos os tubos têm coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams, C = 130. Determine a vazão em cada trecho. Qual deveria ser o comprimento do trecho 3, para que Q_2 = 0. A tubulação 3 descarrega na atmosfera. Despreze as perdas localizadas e a carga cinética.

[$Q_1 \approx$ 10,4 L/s; $Q_2 \approx$ 4,22 L/s; L = 467 m]



2.7 – Uma tubulação de aço laminado revestido de asfalto, de 75 mm de diâmetro, transporta água. Dois manômetros distanciados de 12 m um do outro indicam, respectivamente, as pressões P_1 = 147,00 kPa e P_2 = 129,84 kPa. Determine a vazão e a tensão de cisalhamento na parede da tubulação.

[$Q \approx 5{,}30$ L/s; $\tau = 3{,}83$ N/m^2]

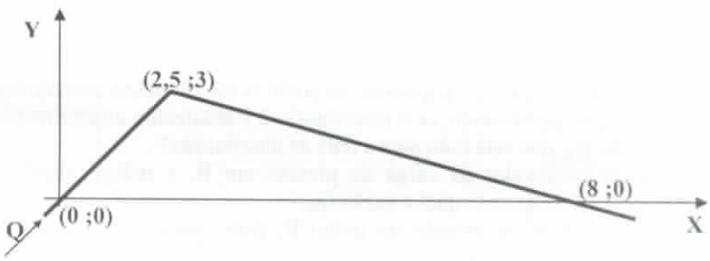


2.8 – Uma tubulação de aço soldado revestido de cimento centrifugado, de 4" de diâmetro, transporta água a 20°C, como conduto forçado. Sendo a velocidade de atrito, correspondente ao escoamento, igual a 0,078 m/s, determine a vazão.

[Q = 11,78 L/s]

2.9 – A figura mostra um trecho, na vertical, de um sistema de abastecimento de água industrial, com tubulações de aço galvanizado de 2" de diâmetro. Para uma vazão de 2,4 L/s e com os dados da figura, determine a carga de pressão disponível em um ponto de abscissa X = 5 m, sendo que a pressão no ponto (0;0) vale P = 68,6 kPa. Use a equação de H.W e despreze a perda de carga localizada no ponto de mudança de direção.

[$P/\gamma = 5{,}07$ mH_2O]



2.10 – As tubulações tendem a tornarem-se mais rugosas devido à corrosão e/ou aos depósitos nas paredes internas. Colebrook e White sugeriram que o aumento da rugosidade absoluta ε com o tempo de uso, pode ser expresso por $\varepsilon = \varepsilon_o + \alpha\, t$, em que ε_o é a rugosidade absoluta da tubulação nova e α uma constante, para t em anos. Considerar uma tubulação de 45 cm de diâmetro que tinha fator de atrito f = 0,020, para uma velocidade de 1,5 m/s quando nova. Em 10 anos de uso a mesma passou a apresentar f = 0,029 à velocidade de 0,90 m/s. Calcular o fator de atrito f à velocidade de

1,2 m/s ao fim de 20 anos de uso e a tensão de cisalhamento na parede do tubo. Viscosidade cinemática da água $\nu = 10^{-6}$ m/s^2.

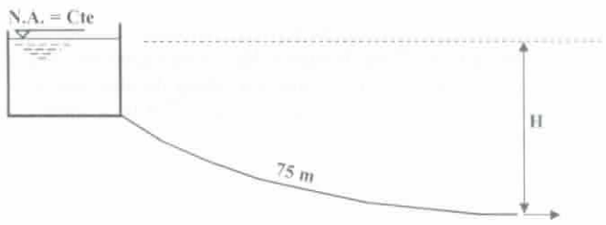
[f = 0,034; τ = 6,12 N/m^2]

2.11 - Em um ensaio em laboratório de uma tubulação de aço soldado moderadamente oxidado, com 4" de diâmetro, a pressão medida no manômetro em uma seção A vale 1,5 kgf/cm^2. Sabendo que os tubos estão na horizontal e que o escoamento está na iminência de ser turbulento hidraulicamente rugoso (turbulência completa), determine a tensão de cisalhamento na parede da tubulação. Dado: viscosidade da água $\nu = 10^{-6}$ m^2 /s. Sugestão: utilize a equação (2.34) ou o conceito de número de Reynolds de rugosidade.

[τ = 30,64 N/m^2]

2.12 - Determinar o desnível H, a partir do qual o escoamento de água através da tubulação de ferro fundido novo (ε = 0,6 mm), descarregando livremente na atmosfera, torna-se francamente turbulento (hidraulicamente rugoso). Diâmetro da tubulação D = 3" despreze as perdas localizadas, mas não a carga cinética. Viscosidade da água $\nu = 10^{-6}$ m/s^2. Sugestão: utilize a equação (2.34) ou o conceito de número de Reynolds de rugosidade.

[H = 5,72 m]

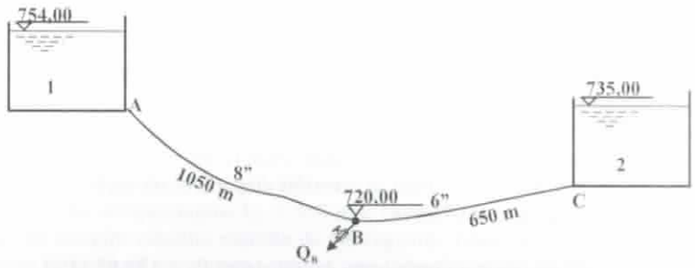


2.13 – O esquema de adutoras mostrado na figura, faz parte de um sistema de distribuição de água em uma cidade, cuja rede inicia-se no ponto B.

a) Quando a carga de pressão disponível no ponto B for 20 mH_2O, determine a vazão no trecho AB e verifique, justificando, se o reservatório 2 é abastecido ou abastecedor. Nesta situação qual a vazão Q_B, que está indo para a rede de distribuição?
b) A partir de qual valor da carga de pressão em B, a rede é abastecida somente pelo reservatório 1? Neste caso qual a vazão Q_B?
c) Determine a carga de pressão no ponto B, para que a vazão descarregada na rede de distribuição seja de 78 L/s.

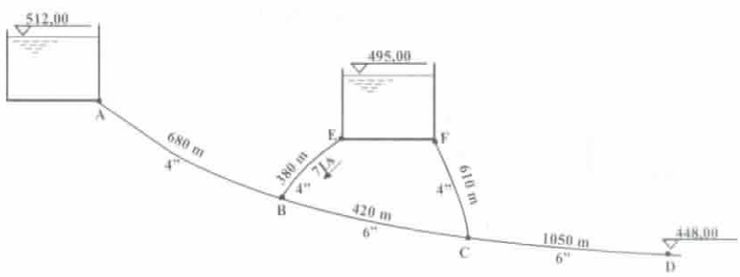
Material das tubulações, aço rebitado novo. Despreze as perdas de carga localizadas e as cargas cinéticas e utilize a equação de Hazen-Williams.

a)[Q_{AB} = 42,93 L/s; abastecido; Q_B = 27,97 L/s]; b) [$P_B/\gamma \geq$ 15 mH_2O; Q_B = 50,61 L/s]; c) [P_B/γ = 8,0 mH_2O]



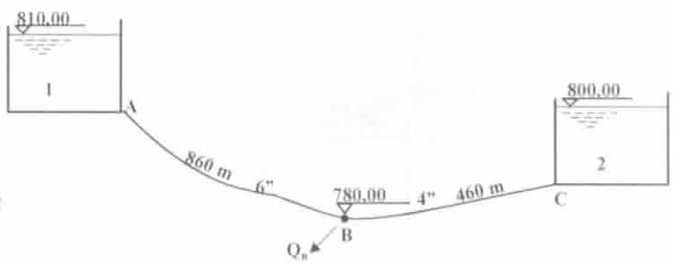
2.14 - No esquema mostrado na figura a vazão no trecho EB é 7 L/s, desprezando as perdas de carga localizadas e as cargas cinéticas nas tubulações, determine a carga de pressão disponível no ponto D. Material das tubulações, ferro fundido (fofo), após 15-20 anos de uso. Utilize a fórmula de Hazen-Williams.

[$P_D/\gamma = 10{,}82$ mH_2O]



2.15 - Determinar o valor da vazão Q_B e a carga de pressão no ponto B, sabendo que o reservatório 1 abastece o reservatório 2 e que a perda de carga unitária no trecho BC é 30% maior que no trecho AB. Material das tubulações: aço soldado revestido de cimento centrifugado. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas.

[$Q_B = 10{,}77$ L/s; $P_B/\gamma = 24{,}10$ mH_2O]



2.16 – Medições em um escoamento turbulento de um líquido em um conduto circular indicam que a velocidade em um ponto, na metade entre a parede do tubo e a linha central é 90% da velocidade máxima no centro do tubo. Determine a velocidade média do escoamento em função da velocidade máxima. Determine o fator de atrito e a rugosidade relativa da parede.

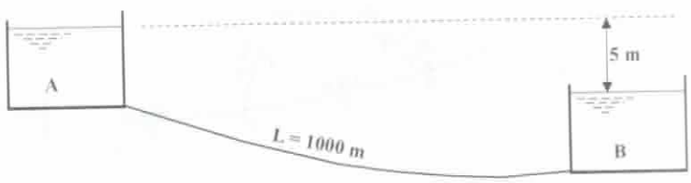
[$V = 0{,}7836 v_{max}$; $f = 0{,}043$; $\varepsilon/D = 0{,}0145$]

2.17 - O escoamento de água como conduto forçado é feito através de uma tubulação de 4" de diâmetro, em aço soldado revestido de cimento centrifugado, no sentido do ponto A para o ponto B. Sendo a tensão média de cisalhamento igual a 5 N/m^2, determine a vazão, o fator de atrito, o tipo de escoamento e a pressão disponível na seção B. Dados: comprimento $L_{AB} = 250$ m, cota topográfica de A igual a 813,25 m e de B igual a 830,04 m, pressão disponível na seção A igual a 362,60 kPa. Viscosidade cinemática da água $\nu = 10^{-6}$ m^2/s.

[$Q = 10{,}64$ L/s; $f = 0{,}0218$; escoamento turbulento de transição; $P_B = 148{,}05$ kPa]

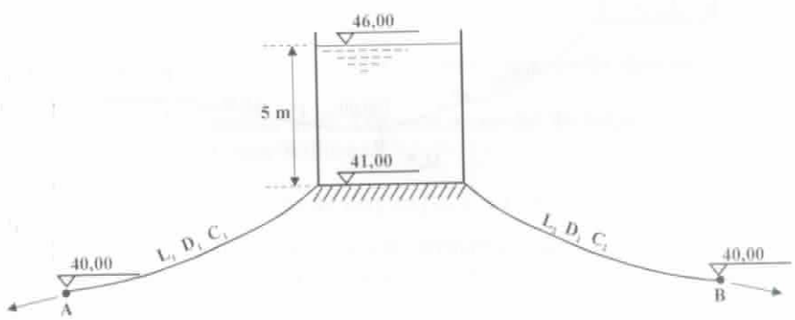
2.18 – No projeto de interligação dos reservatórios A e B, se você fosse decidir sobre o uso de uma das duas tubulações abaixo, tendo como critério somente a eficiência hidráulica das tubulações, por qual você optaria? Justifique.
1 – Uma tubulação de diâmetro único de 10" e 1000 m de comprimento.
2 – Uma tubulação com dois trechos em série com as seguintes características: 400 m de tubos com diâmetro de 12" e 600 m de tubos com diâmetro de 10".
Nas duas situações os tubos são de ferro fundido revestido de cimento. Despreze as perdas localizadas.

[A segunda]



2.19 - O reservatório prismático da figura tem 5 m de altura e 10 m^2 de área. Determinar o tempo necessário para esvaziá-lo completamente, sabendo que $L_1 = 500$ m, $D_1 = 4"$, $C_1 = 140$, $L_2 = 600$ m, $D_2 = 5"$ e $C_2 = 80$ e que os condutos descarregam na atmosfera na mesma cota, 40,00 m. Sugestão: utilize a equação de Hazen-Williams na forma $Q = 0{,}2788\ C\ D^{2{,}63}\ J^{0{,}54}$. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas.

[T = 1 h 15 min]

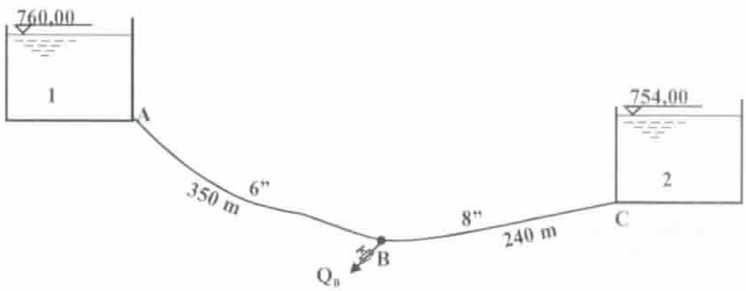


2.20 – Resolver o exercício anterior, com os mesmos dados, alterando a cota do ponto A para 39,00 m. Sugestão: use para a resolução da equação diferencial o esquema numérico de 4ª ordem de Runge-Kutta, com discretização temporal de $\Delta t = 1$ s.

[T ≈ 1 h 8 min]

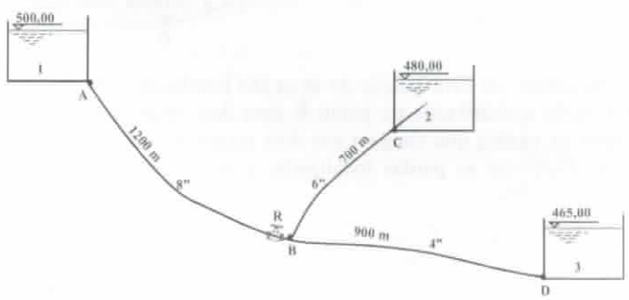
2.21 – O esquema representa dois reservatórios mantidos em níveis constantes, ligados por dois trechos de condutos de comprimentos $L_1 = 350$ m e $L_2 = 240$ m e diâmetros $D_{AB} = 6"$ e $D_{CB} = 8"$. Do ponto B sai um terceiro conduto munido de um registro. Traçar a linha piezométrica e calcular a cota piezométrica no ponto B para que as vazões que saem dos reservatórios sejam iguais.
Utilize a equação de Hazen-Williams, desprezando as perdas de carga localizadas e as cargas cinéticas nas tubulações. Material das tubulações: aço soldado novo.

[$CP_B = 752{,}78$ m]



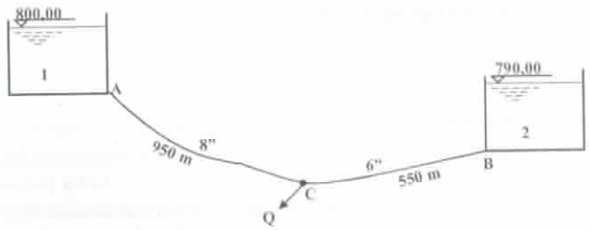
2.22 - No esquema mostrado na figura a válvula R é regulada de modo que as vazões que chegam aos reservatórios 2 e 3 são iguais. Nesta situação qual a perda de carga localizada na válvula. Despreze as cargas cinéticas e as outras perdas localizadas. Material das tubulações, concreto acabamento comum.

[$\Delta h_R = 6{,}98$ m]



2.23 - No sistema de distribuição de água de uma cidade, abastecido por dois reservatórios em níveis diferentes, a vazão no ponto C, entrada da rede, vale Q = 60 l/s. Assumindo que a tubulação AC tenha fator de atrito f = 0,022 e que o trecho BC tenha fator de atrito f = 0,020, com os dados da figura determine as vazões nos dois trechos e a carga de pressão disponível na entrada da rede. Despreze as perdas de carga localizadas e as cargas cinéticas.

[Q_{AC} = 47,1 L/s ; Q_{BC} = 12,9 L/s ; P_C/γ = 38 mH_2O]



2.24 - No escoamento de água em uma tubulação horizontal com rugosidade absoluta ε = 1,2 mm e diâmetro D = 0,10 m, observa-se uma queda de pressão ΔP/L = 250 N/m^3. Classifique o tipo de escoamento, determine o fator de atrito e a vazão. Dado: ν = 10^{-6} m^2/s.

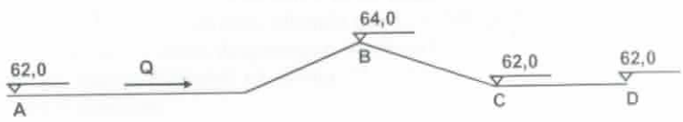
[Escoamento turbulento hidraulicamente rugoso; f ≈ 0,040 ; Q = 8,75 L/s]

2.25 - Um ensaio de campo em uma adutora de 6" de diâmetro, em aço soldado moderadamente oxidado, mostrou que a perda de carga entre duas seções distanciadas de 125 m era de 2,18 m. Determine o fator de atrito f e classifique o tipo de escoamento. Viscosidade da água ν = 10^{-6} m^2/s.

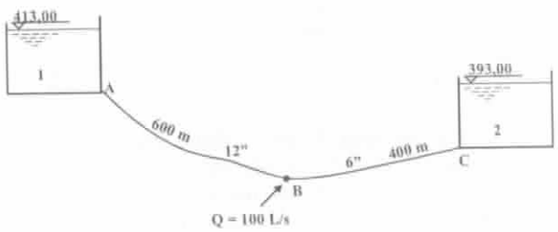
[f = 0,026 ; escoamento turbulento de transição]

2.26 - A tubulação mostrada na figura é toda feita do mesmo material. Os trechos AB e CD têm, respectivamente, 400 m e 100 m de comprimento, com diâmetros iguais. O trecho BC tem 200 m de comprimento e o diâmetro é 20% maior que o diâmetro dos outros trechos. Usando a equação de Hazen-Williams determine a carga de pressão disponível no ponto A, para que as pressões disponíveis nos pontos B e C sejam iguais. A extremidade D está aberta para a atmosfera. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas.

[P_A/γ = 14,15 mH_2O]



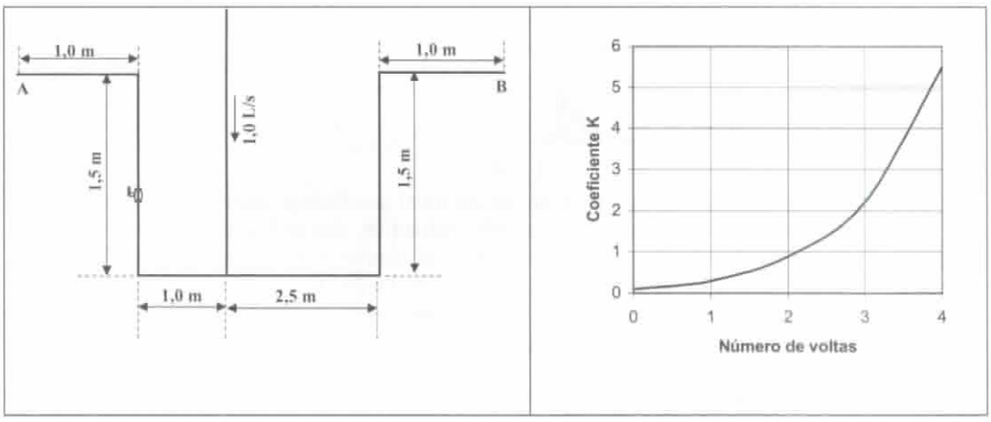
2.27 - Em um sistema urbano de distribuição de água são bombeados, da estação de tratamento de água, 100 L/s. Esta vazão é distribuída no ponto B para dois reservatórios, em níveis constantes, como na figura. Quais as vazões que chegam aos dois reservatórios? Material das tubulações aço soldado tubos novos. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas e use a equação de Hazen-Williams.



[Q_{BC} = Q_{BA} = 50 L/s]

CAPÍTULO 3 – PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

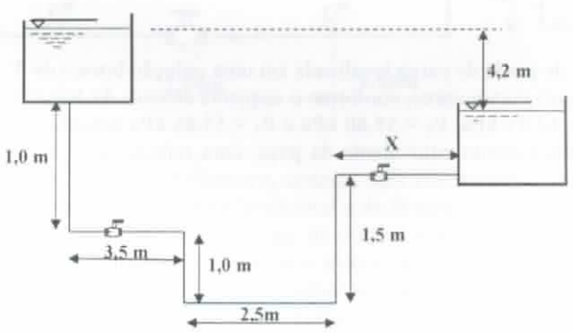
3.1 – A instalação hidráulica predial mostrada na figura é toda em tubos de aço galvanizado novo de 1" de diâmetro, com cotovelos de raio curto. Necessitando-se que as vazões nas saídas A e B sejam iguais, quantas voltas, aproximadamente, devem ser dadas fechando o registro de gaveta instalado. Em anexo é apresentada a curva do registro, isto é, um gráfico que relaciona o coeficiente de perda de carga localizada K, com o número de voltas dadas no registro. Despreze a carga cinética nas saídas A e B.



[Aproximadamente 3 voltas]

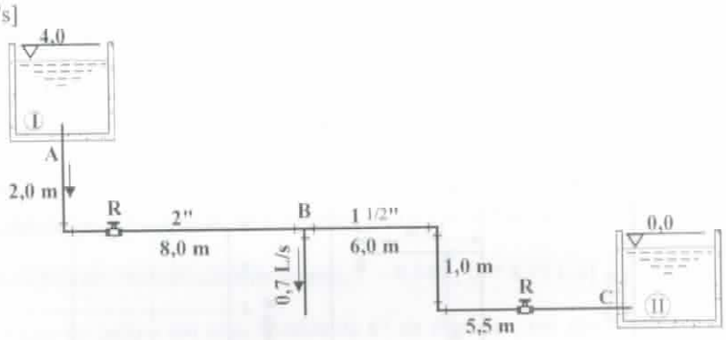
3.2 – Na instalação mostrada na figura os tubos são de ferro fundido $\varepsilon = 0{,}5$ mm, de 2" de diâmetro, todos os cotovelos são de raio curto e os registros de gaveta abertos. Qual deve ser o máximo comprimento X para que o escoamento ainda seja hidraulicamente francamente turbulento. Dado: $\nu_{H2O} = 10^{-6}$ m^2/s. Sugestão: utilize a equação (2.34) ou o conceito de número de Reynolds de rugosidade.

[X = 4,78 m]



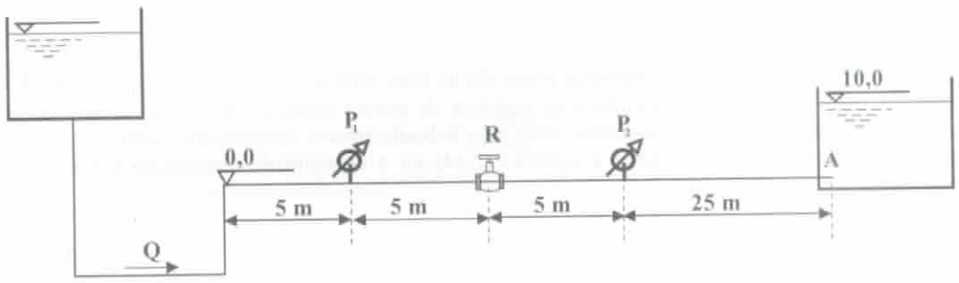
3.3 – A instalação hidráulica predial mostrada na figura é de aço galvanizado novo, os cotovelos de raio curto e os registros de gaveta. No ponto B existe uma derivação de água de 0,7 L/s. Determine a vazão que chega ao reservatório II. Os reservatórios estão em níveis constantes e despreze a carga cinética.

[Q = 2,17 L/s]



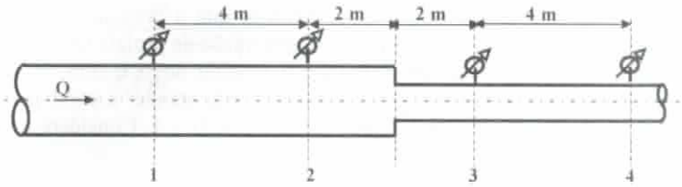
3.4 - O reservatório mostrado na figura é mantido em nível constante e alimenta uma tubulação de aço soldado novo de 3" de diâmetro, em um sistema hidráulico, descarregando em um reservatório no ponto A. O registro R está parcialmente fechado e as leituras nos manômetros são P_2 = 125,4 kPa e P_1 = 145,4 kPa. Determine a vazão, a perda de carga no registro e seu comprimento equivalente, desprezando a carga cinética. Levando em conta a carga cinética na tubulação, recalcule a vazão e faça comentários sobre o resultado. Use a equação de Hazen-Williams.

[Q = 11,6 L/s; Δh_r = 1,015 m; L_{eq} = 9,9 m]; [Q = 12,43 L/s]



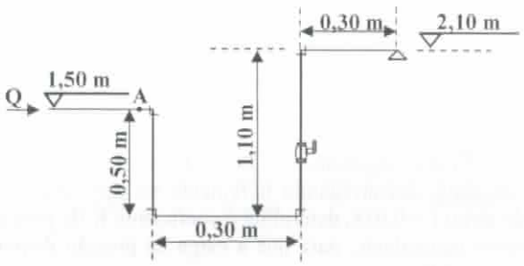
3.5 – Em um ensaio de perda de carga localizada em uma redução brusca de 4" para 3" de diâmetro, foram instalados quatro manômetros, conforme o esquema abaixo. As leituras nos manômetros são: P_1 = 64,68 kPa, P_2 = 63,11 kPa, P_3 = 58,80 kPa e P_4 = 55,86 kPa determine o coeficiente de perda localizada K e o comprimento equivalente da peça, com relação ao diâmetro de 3". A vazão de ensaio é 9,4 L/s.

[K = 0,224; L_{eq} = 0,70 m]



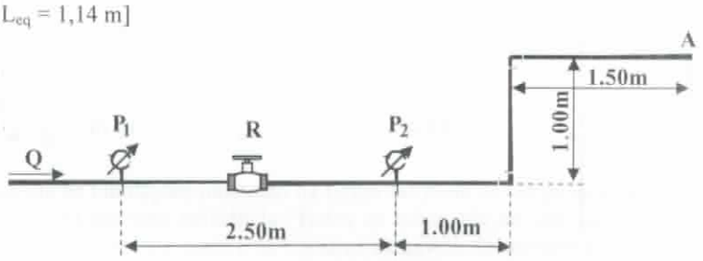
3.6 - Em um projeto de Instalações Hidráulico-Sanitárias em um prédio de apartamentos, o esquema da canalização para o abastecimento do chuveiro é o mostrado na figura. Se a tubulação é de aço galvanizado de ¾" de diâmetro, os cotovelos 90° de raio curto, o registro de globo aberto e a vazão de 18 L/min, determine a carga de pressão disponível no ponto A para que a carga de pressão na entrada do chuveiro seja 1,0 mH_2O. Despreze a carga cinética.

[$P_A/\gamma = 3{,}04\ mH_2O$]



3.7 - A tubulação de aço galvanizado de 1" de diâmetro descarrega livremente na extremidade A. O registro R está parcialmente fechado e as leituras nos manômetros são $P_1 = 38{,}22$ kPa e $P_2 = 27{,}44$ kPa. Os cotovelos são de raio curto. Determinar a vazão e o comprimento equivalente do registro R. Utilize a equação de Fair-Whipple-Hsiao, Tab (2.5).

[$Q = 1{,}0$ L/s; $L_{eq} = 1{,}14$ m]

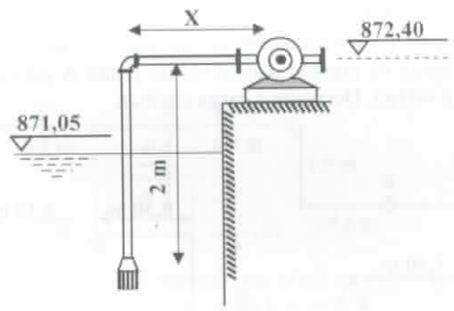


3.8 – Uma tubulação ABC, de 2" de diâmetro, conecta dois reservatórios abertos e mantidos em níveis constantes. De A até B a tubulação é horizontal e de B para C cai 3,40 m. Os comprimentos AB e BC são, respectivamente, 24,5 m e 15,3 m. Se o nível d'água no reservatório A está 3,7 m acima do trecho AB e o nível d'água no reservatório inferior está 0,9 m acima do ponto de chegada C, determine a vazão. Classifique o tipo de escoamento. Dados: fator de atrito da tubulação f = 0,024, coeficiente de perda de carga localizada na entrada $k_e = 0{,}5$ e na saída $k_s = 1{,}0$.

[$Q = 4{,}78$ L/s; escoamento turbulento de transição]

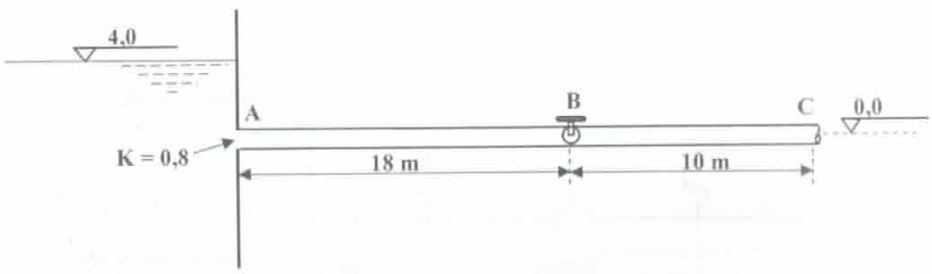
3.9 – No projeto de um sistema elevatório especificou-se que a pressão relativa na entrada da bomba, não deve estar abaixo do valor – 20 kPa. Para uma vazão de projeto Q = 10 L/s, diâmetro da tubulação de sucção D = 4", material dos tubos ferro fundido novo e com os dados da figura, determine o máximo valor do comprimento horizontal X, para atender a condição de projeto. Na tubulação há uma válvula de pé com crivo e uma curva 90° R/D = 1. Considere a carga cinética e use a equação de Hazen-Williams.

[X = 1,20 m]



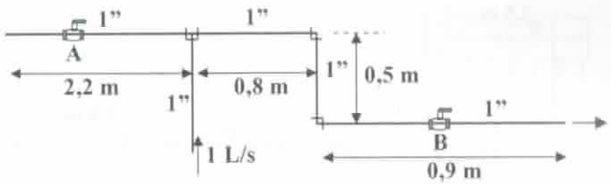
3.10 – Uma tubulação de 50 mm de diâmetro, 28 m de comprimento, assentada na horizontal, transporta certa vazão de água, descarregando livremente na extremidade C, conforme a figura. Adotando para o fator de atrito f = 0,018, determine o coeficiente K de perda de carga localizada no registro e seu comprimento equivalente, para que a carga de pressão disponível, imediatamente a jusante do registro seja 1,0 mH_2O.

[K = 2,52; L_{eq} = 7,0 m]



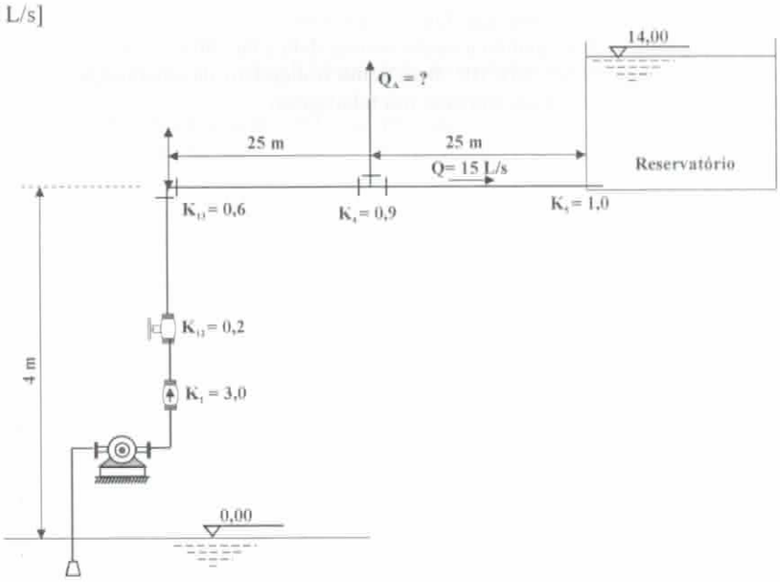
3.11 – A instalação hidráulica predial mostrada na figura, em aço galvanizado novo, de 1" de diâmetro, está em um plano vertical. Todos os cotovelos são de raio curto e os registros de gaveta. Determine qual deve ser o comprimento equivalente do registro B, parcialmente fechado, para que as vazões em A e B sejam iguais. Determine também o coeficiente de perda de carga K do registro B. O registro A está totalmente aberto. Os ramos A e B estão abertos para a atmosfera.

[L_{eq} = 4,5 m; K = 7,0]



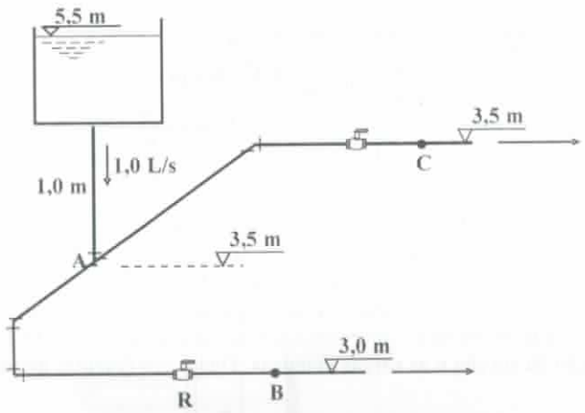
3.12 - Uma bomba com potencia de 7,5 c.v e 66% de rendimento recalca água de um lago em um sistema hidráulico com tubulação de diâmetro D = 100 mm e fator de atrito f = 0,020. Em uma determinada seção há o desvio de uma vazão Q_A e a vazão que chega ao reservatório é de 15 L/s. Com os dados da figura determine a vazão Q_A. Assuma que no ponto de derivação o coeficiente k_4 = 0,9 de perda localizada refere-se a um tê passagem direta e a vazão Q = 15 L/s. Despreze a perda de carga na tubulação de sucção e as cargas cinéticas. Dados coeficientes de perdas localizadas nos acessórios.

[$Q_A \approx 5,0$ L/s]



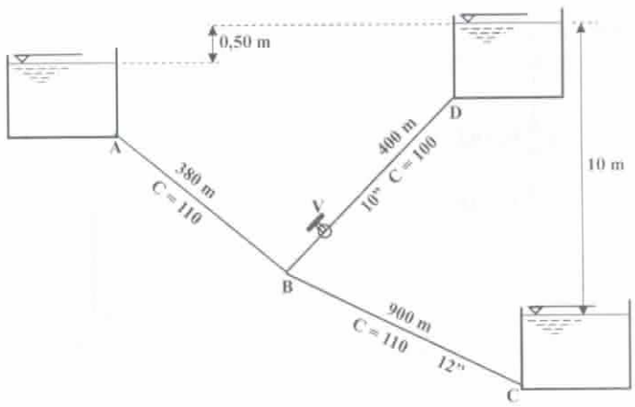
3.13 - O esquema de tubulações mostrado na figura faz parte de um projeto de instalação hidráulica sanitária (água fria) em uma residência. Todos os tubos são de aço galvanizado novo de 1" de diâmetro, os cotovelos de raio curto e os registros de gaveta. O comprimento do trecho A (tê) até B é de 5,5 m e de A até C de 7,0 m. Estando o registro R parcialmente fechado, qual deve ser o seu coeficiente de perda de carga localizada K e o comprimento equivalente, de modo que as vazões e as pressões em B e C sejam iguais. A vazão que sai do reservatório é igual a 1,0 L/s e são dadas as cotas geométricas. Despreze as cargas cinéticas.

[K = 10,77; L_{eq} = 6,91 m]



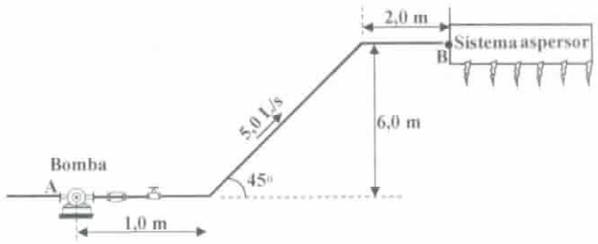
3.14 – A válvula V colocada na tubulação DB está parcialmente fechada, ocasionando uma perda de carga localizada igual a 1,20 m quando a vazão através dela é de 180 m^3/h. Com os dados da figura determine as vazões nos trechos AB, BC, bem como o diâmetro da canalização AB. Despreze as outras perdas localizadas e as cargas cinéticas nas tubulações.

[Q_{AB} = 35,43 L/s; Q_{BC} = 85,43 L/s; D_{AB} = 0,20 m]



3.15 - Em uma visita a um frigorífico abatedouro de aves, observou-se um sistema aspersor pressurizado, usado para lavagem. O sistema é constituído por uma bomba e uma tubulação de PVC roscável (branco), com diâmetro de referência de 2", classe 15. A linha possui um registro de globo aberto, 2 joelhos de 45° e uma válvula de retenção leve, conforme a figura. Segundo informação do encarregado, o sistema aspersor para funcionar bem exige uma pressão mínima na entrada, ponto B, de 98 kPa e uma vazão de 5,0 L/s. Qual deve ser a pressão mínima na saída da bomba, em kPa, para o bom funcionamento do sistema?

[P = 226,8 kPa]

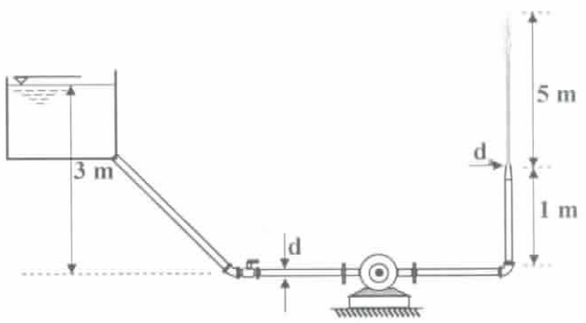


3.16 - Entre um reservatório mantido em nível constante e um chafariz foi instalada uma bomba, de forma a produzir um jato de 5 m de altura, de acordo com a figura anexa. O comprimento real da tubulação entre o reservatório e a saída do bocal é de 206 m e o fator de atrito (f) é igual a 0,025. Os coeficientes de perda localizada (K) para os acessórios da tubulação são dados:

- registro de gaveta K= 0,2
- entrada na tubulação K= 0,8
- curva de 45°. K= 0,2
- cotovelo de 90°. K= 0,9
- saída do bocal K= 0,5 (com relação ao diâmetro menor)

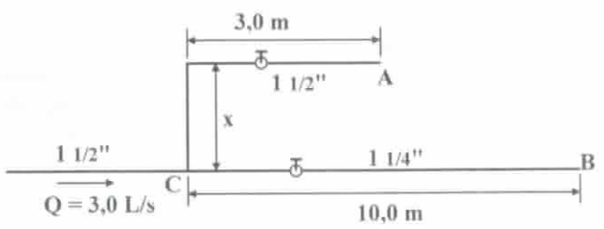
Dados os diâmetros d_a = 0,01 m e d = 0,03 m determine a potência requerida pela bomba (P_m), admitindo um rendimento de 40%.

[Pot = 0,422 c.v]



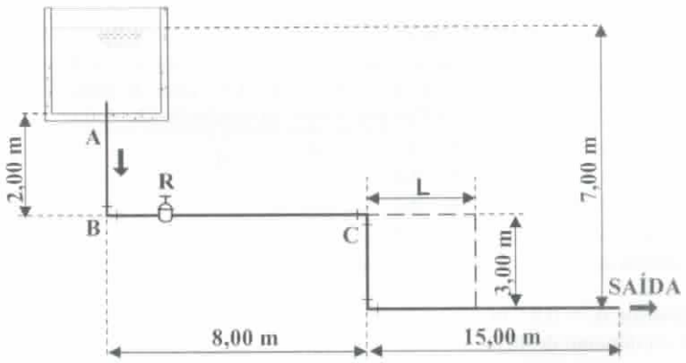
3.17 - A instalação hidráulica mostrada na figura é de tubos de aço galvanizado novo, os cotovelos de raio curto e os registros de gaveta abertos, e está em um plano vertical. Determine o comprimento x para que as vazões que saem nas extremidades A e B sejam iguais. Considere as cargas cinéticas nas saídas A e B e na chegada em C.

[x = 1,61 m]



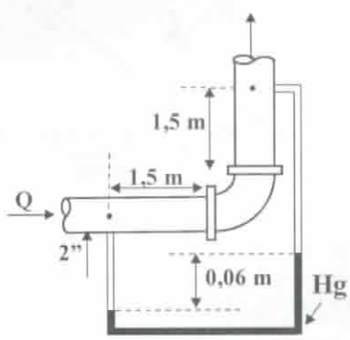
3.18 - Na instalação hidráulica predial mostrada na figura, em aço galvanizado de 2" de diâmetro, os cotovelos são de raio curto, o registro de gaveta aberto e a saída livre para atmosfera. Determine a vazão. Calcule qual o máximo aumento L que se pode dar ao trecho BC, de modo que em nenhum ponto da instalação se tenha pressão relativa negativa. Observação: o comprimento total da linha permanece constante. Despreze a carga cinética.

[Q = 4,73 L/s; L_{max} = 5,57 m]



3.19 – O ensaio de perda de carga localizada, em uma tubulação metálica de 2" de diâmetro, coeficiente de rugosidade ε = 0,5 mm e vazão de 4 L/s é mostrado na figura. Para um desnível manométrico de 0,06 mHg, determine o comprimento equivalente do cotovelo 90° de raio curto. Densidade relativa do mercúrio d_r = 13,6.

[L_{eq} = 1,60 m]



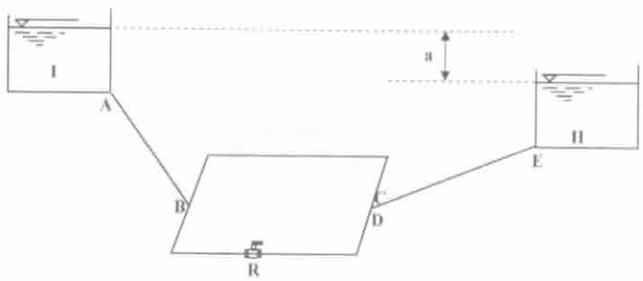
3.20 – Em um ensaio de perda de carga de uma luva de redução de 2" x 1 ½", o comprimento equivalente da peça, com relação ao tubo de menor diâmetro (1 ½"), foi determinada igual a 0,38 m. Assumindo, por simplificação, que o fator de atrito f para os dois tubos seja o mesmo, determine o comprimento equivalente da luva, em relação ao diâmetro de montante (2")

[Leq = 1,60 m]

CAPÍTULO 4 – SISTEMAS HIDRÁULICOS DE TUBULAÇÕES

4.1 – Dispõe-se de dois reservatórios interligados e mantidos em níveis constantes, conforme a figura abaixo. Sabendo-se que o escoamento é francamente turbulento, que toda tubulação é do mesmo material e diâmetro, que as perdas localizadas são desprezíveis, determinar o aumento percentual da vazão de I para II quando se abre o registro R. Os comprimentos AB, BC, BD e DE são iguais, os ramos BC e BD estão no plano horizontal. Utilize uma equação de resistência na forma $\Delta H = KQ^2$.

[$\Delta Q = 15{,}5\%$]



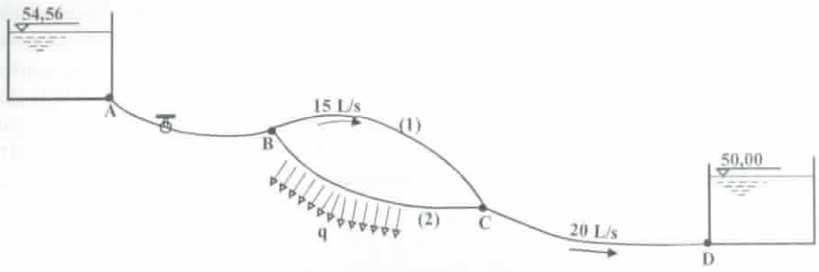
4.2 – Por uma tubulação de 300 mm de diâmetro e 1500 m de comprimento passa uma vazão de 70 L/s de água. Na sua extremidade de jusante a tubulação se divide em dois trechos de 150 mm de diâmetro, que descarregam livremente na atmosfera. Em um destes trechos de 400 m de comprimento, 1/3 da vazão que entra na extremidade de montante é distribuída ao longo da tubulação, com uma vazão por unidade de comprimento uniforme e no outro, de 800 m de comprimento, 2/3 da vazão que entra é distribuída uniformemente ao longo do trecho com uma vazão por unidade de comprimento uniforme. Adotando para todas as tubulações um fator de atrito $f = 0{,}020$ e supondo que todo o sistema está em um plano horizontal, determine a diferença de carga entre as seções de entrada e a saída do sistema. Despreze as perdas singulares e as cargas cinéticas.

[$\Delta H = 13{,}35$ m]

4.3 – Com os dados da figura e sabendo que somente o trecho B2C tem distribuição em marcha, com taxa constante q (L/(sm)), determine:
a) a vazão de distribuição em marcha por metro de tubo, para que o trecho CD transporte uma vazão de 20 L/s.
b) o diâmetro do trecho AB, considerando a perda de carga no registro de globo aberto, despreze as outras perdas localizadas e as cargas cinéticas: Dados:

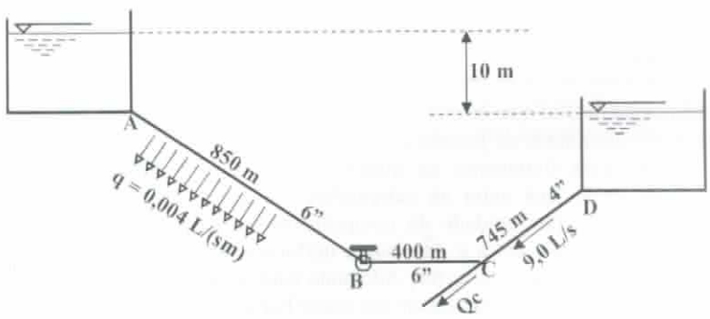
Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro (pol)	Coeficiente C	Vazão (L/s)
AB	118		80	
B1C	1200	8	100	15
B2C	1000	6	100	
CD	1500	10	130	20

[q = 0,0056 L/(sm); D = 0,25 m]



4.4 - No trecho AB do sistema mostrado na figura existe uma distribuição em marcha, constante, com vazão por unidade de comprimento q = 0,004 L/(sm). No ponto B existe um registro parcialmente fechado que provoca uma perda localizada, para a vazão de escoamento, de 1,5 m. O material das tubulações é ferro fundido novo. Com os dados da figura determine a vazão Q_c. Use a equação de Hazen-Williams e despreze as cargas cinéticas.

[Q_c = 34,3 L/s]

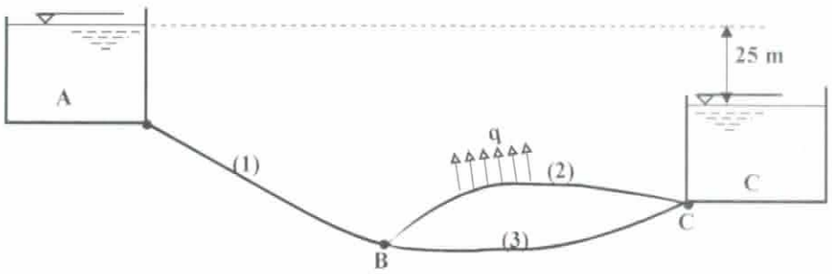


4.5 – O reservatório A alimenta o reservatório C e o trecho (2) que tem uma distribuição em marcha constante q (L/(sm)). O trecho (1) tem 600 m de comprimento, 6" de diâmetro e rugosidade ε = 0,6 mm, transportando uma vazão de água tal que, o escoamento encontra-se na iminência da turbulência completa. Os trechos (2) e (3) têm o mesmo comprimento, 200 m, o mesmo diâmetro, 4" e a mesma rugosidade ε = 0,1 mm. Determine:

a) a vazão que chega ao reservatório C.
b) o valor da taxa de distribuição em marcha q (L/(sm)), no trecho (2).

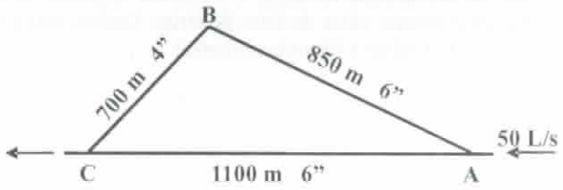
Despreze as cargas cinéticas e as perdas localizadas.
Observação: resolva o exercício primeiro usando o diagrama de Moody para determinar o fator de atrito f e o número de Reynolds no trecho (1) e depois repita a aplicação utilizando a equação (2.34) ou o conceito de número de Reynolds de rugosidade. Verifique as diferenças nas respostas e comente.

a)[Q_c = 21,15 L/s] b)[q = 0,0533 L/(sm)]



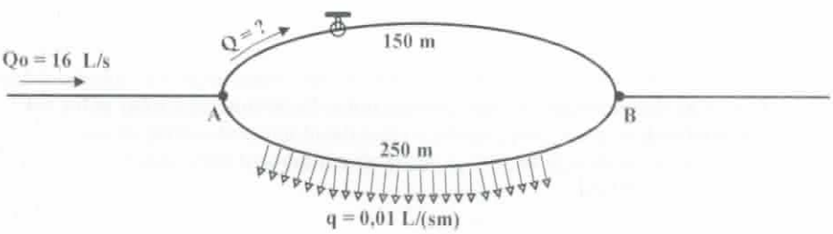
4.6 - No sistema hidráulico mostrado na figura, determine a velocidade média no trecho AB. Assuma, para as três tubulações, um fator de atrito constante f = 0,022. Despreze as perdas localizadas.

[V_{AB} = 0,84 m/s]



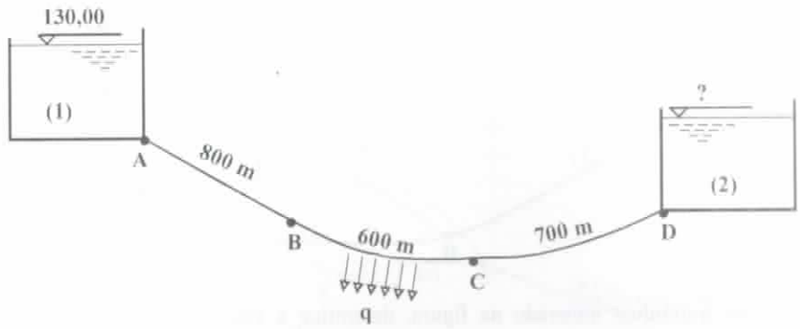
4.7 - As tubulações mostradas na figura têm todas 4" de diâmetro e coeficiente de rugosidade C = 120. Para uma vazão de entrada Q_0 = 16 L/s e uma vazão de distribuição q = 0,01 L/(sm), determine a vazão que passa pelo registro quando este, parcialmente fechado, provoca uma perda de carga localizada de 1,0 m. Despreze a carga cinética.

[Q ≈ 7,6 L/s]



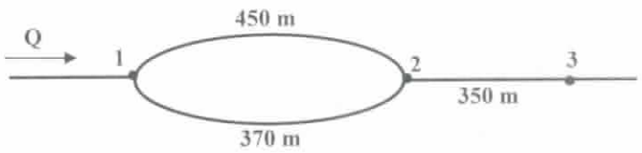
4.8 – A tubulação AD, de 300 mm de diâmetro e coeficiente de rugosidade da fórmula de Hazen-Williams igual a C = 110 é destinada a conduzir água do reservatório 1 para o reservatório 2, bem como atender aos moradores localizados ao longo do trecho BC que consomem uma vazão de 0,05 L/(sm). Sabendo que no ponto B a cota do terreno é 108,0 m e a pressão 127,40 kPa, determine as vazões nos trechos AB e CD e a cota do N.A no reservatório 2. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas.

[Q_{AB} = 0,114 m^3/s; Q_{CD} = 0,084 m^3/s; N.A = 111,31 m]



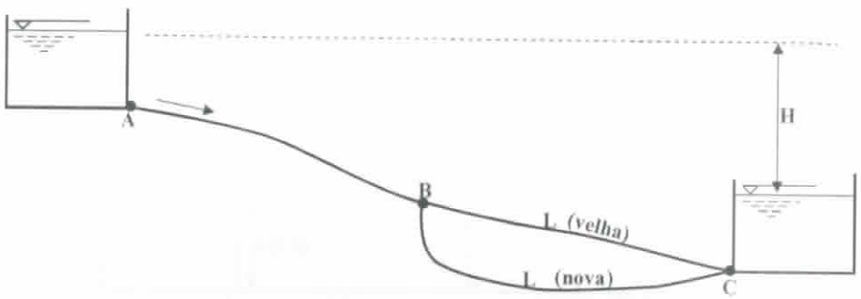
4.9 – No sistema série-paralelo mostrado todos os tubos são de um determinado material metálico, de 10 cm de diâmetro. Se a queda de pressão $p_2 - p_3 = 163{,}88$ kPa, e a vazão Q na seção 3 for igual a 15 L/s, determine a vazão na tubulação de 450 m de comprimento. Para água a 20°C identifique no diagrama de Moody o tipo de escoamento na seção 3. Despreze as perdas de carga localizadas e assuma para todas as tubulações o mesmo valor do fator de atrito. Dados: cota topográfica da seção 2, 620,50 m e da seção 3, 625,50 m. Utilize a fórmula universal.

[Q = 7,14 L/s; escoamento turbulento de transição]



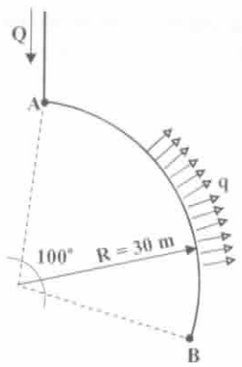
4.10 – Um sistema de transporte de água entre dois reservatórios mantidos em níveis constantes, é feito por uma tubulação com diâmetro de 200 mm e comprimento AC de 2 km. No início a capacidade de vazão da adutora era de 100 L/s e com o decorrer do tempo, por deterioração dos tubos, caiu para 60 L/s. Necessitando-se restaurar a capacidade inicial de 100 L/s do sistema, deverá ser colocado um trecho em paralelo com a tubulação velha, de comprimento L, mesmo diâmetro e fator de atrito **f** igual ao da tubulação original quando nova. Determine as vazões pelos trechos em paralelo de comprimentos L.

[Q_N = 62,50 L/s; Q_V = 37,50 L/s]



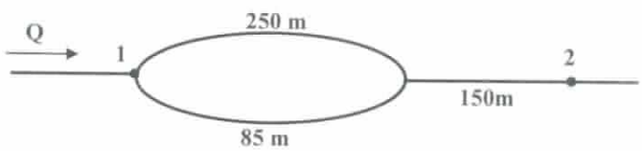
4.11 – Em um distrito de irrigação por gotejamento, uma tubulação de plástico, diâmetro de 25 mm, fator de atrito f = 0,025, em forma de arco de círculo, como na figura, distribui a vazão de entrada no ponto A com uma taxa de distribuição em marcha constante, q. O ponto B é uma ponta seca e manômetros instalados na entrada A e na ponta seca B acusam pressões, respectivamente, de P_A = 147 kPa e P_B = 68,6 kPa. As cotas topográficas dos pontos A e B são, respectivamente, 861,00 m e 863,00 m. Determine a taxa de distribuição de vazão em marcha, q. Despreze a carga cinética e as perdas localizadas.

[$q = 2{,}434 \times 10^{-2}$ L/(sm)]



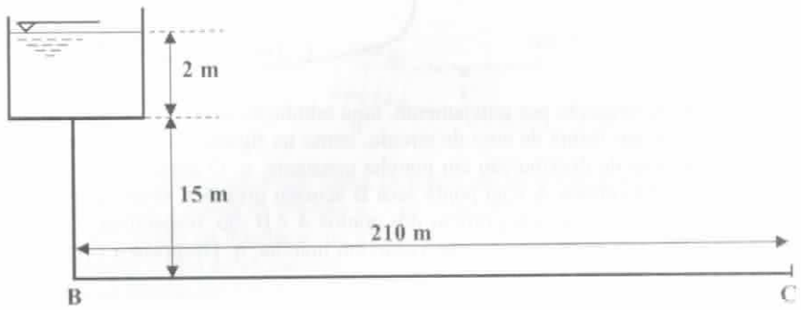
4.12 - No sistema série-paralelo mostrado todos os tubos são de ferro fundido em uso com cimento centrifugado, de 7,5 cm de diâmetro. Se a queda de pressão total $p_1 - p_2$ = 150 kPa determine a vazão Q em m^3/h, para água a 20°C. Identifique no diagrama de Moody o tipo de escoamento na seção 2. Despreze as perdas de carga localizadas e assuma para todas as tubulações o mesmo valor do fator de atrito. Dados: cota topográfica da seção 1, 720,50 m e da seção 2, 725,50 m. Utilize a fórmula universal.

[Q = 30,16 m^3/h; escoamento turbulento de transição]



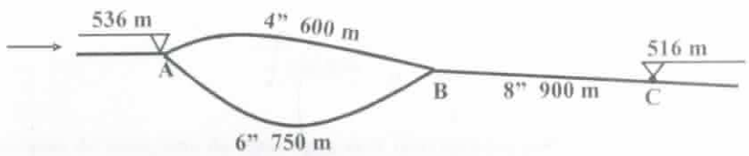
4.13 - Tem-se uma caixa d'água para distribuição de água como mostra a figura. No trecho BC quer se fazer uma distribuição em marcha com taxa constante **q**. Adotando para toda a canalização a equação J (m/m) = 4500 Q^2 (Q em m^3/s), determine qual a máxima taxa de distribuição possivel, para que a mínima carga de pressão no sistema seja 10 mH_2O. A extremidade C é uma ponta sêca. Despreze as perdas singulares e a carga cinética.

[$q = 2{,}04 \times 10^{-5}$ m^3/sm]



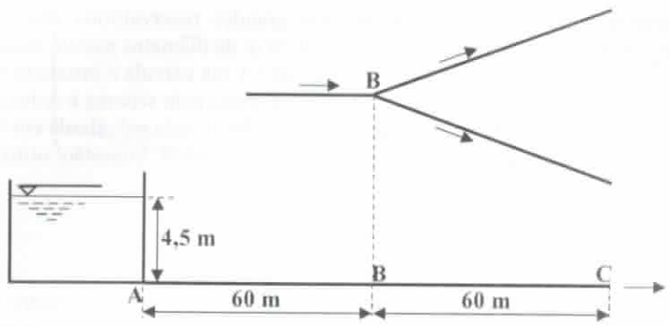
4.14 – Um ensaio de campo no sistema hidráulico mostrado na figura mostrou que a pressão medida no ponto A foi de 412 kPa e no ponto C de 340 kPa. Assumindo um coeficiente de rugosidade da equação de H.W. para todas as tubulações C = 130, determine a vazão no ponto C.

[$Q \approx 0{,}045$ m^3/s]



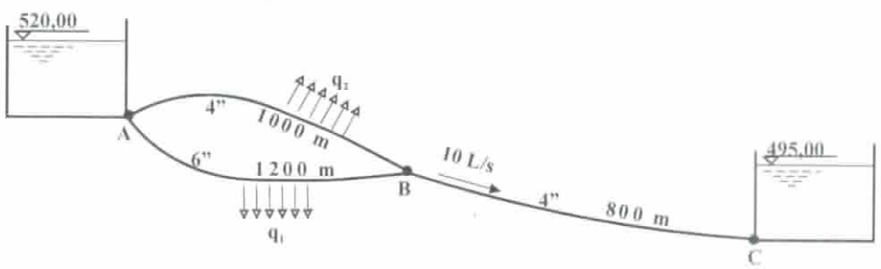
4.15 - A tubulação de 2" de diâmetro mostrada na figura é alimentada por um reservatório mantido em nível constante. Em uma determinada seção B a tubulação se divide em dois trechos iguais de 2" de diâmetro, 60 m de comprimento, descarregando livremente na atmosfera. Em um destes trechos toda vazão que entra na extremidade de montante é distribuída ao longo da tubulação, com uma vazão por unidade de comprimento uniforme e no outro, metade da vazão que entra é distribuída uniformemente ao longo do trecho. Adotando para todas as tubulações um fator de atrito f = 0,020 e supondo que todo o sistema está em um plano horizontal, determine a vazão que sai do reservatório. Despreze as perdas singulares e as cargas cinéticas.

[Q = 3,59 L/s]



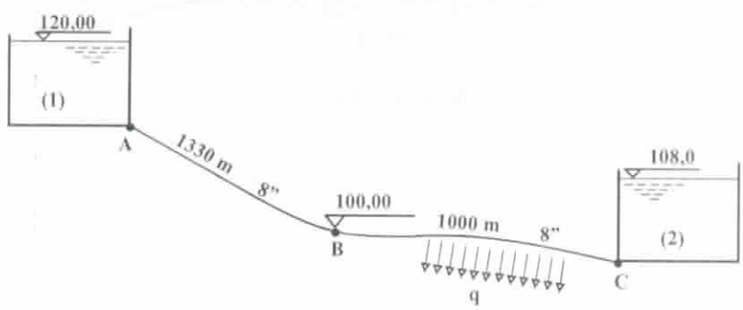
4.16 - No sistema de transporte de água mostrado na figura a tubulação AB, de 6" de diâmetro e 1200 m de comprimento, tem uma taxa de distribuição em marcha constante e igual a q_1 = 0,02 L/(sm). Todas as tubulações têm coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams igual a C = 130. Com os dados da figura determine a taxa de distribuição em marcha q_2 na tubulação de 4" de diâmetro e 1000 m de comprimento. Despreze as cargas cinéticas nas tubulações e as perdas localizadas.

[q_2 = 0,0056 L/(sm)]



4.17 - No sistema hidráulico mostrado na figura, a partir do ponto B existe uma distribuição em marcha de vazão, constante, e igual a q = 0,01 L/(sm). As tubulações, de 8" de diâmetro, têm coeficiente de rugosidade C = 120. Determinar a carga de pressão disponível no ponto B e a vazão que chega ao reservatório 2. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas.

[P_B/γ = 12,22 mH_2O; Q = 20 L/s]



4.18 – Uma tubulação transporta água entre dois grandes reservatórios mantidos em níveis constantes. A tubulação de 750 m de comprimento e 0,20 m de diâmetro possui, nos últimos 300 m, um trecho em paralelo de mesmo comprimento e diâmetro. Uma válvula é instalada em um dos dois tramos de 300 m de comprimento. Se a vazão total transportada pelo sistema é reduzida em 5% pelo fechamento parcial da válvula, determine a perda de carga localizada na válvula em termos da nova velocidade neste trecho. Adote um fator de atrito constante f = 0,028. Sugestão: utilize a equação de resistência na forma $\Delta H = K \cdot Q^2$.

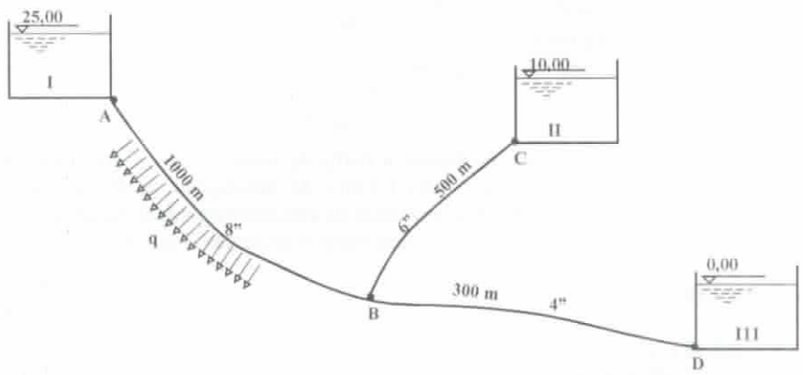
[$\Delta h_{val} = 6{,}12\, V_1^2$]

4.19 - Faz 45 anos que uma longa adutora de ferro fundido com 6" de diâmetro foi construída, ligando dois grandes reservatórios mantidos em níveis constantes. Com o passar do tempo a tubulação "envelheceu" devido ao aumento da rugosidade, estima-se hoje que o coeficiente de rugosidade seja C = 90, e a capacidade de vazão foi reduzida. Deseja-se, através da colocação de uma tubulação nova de ferro fundido, em paralelo com a antiga e de mesmo comprimento, obter uma vazão total do sistema cerca de 10% maior do que a vazão inicial de 45 anos atrás. Determine, usando a equação de Hazen-Williams, o diâmetro a ser usado na nova adutora.

[D = 4"]

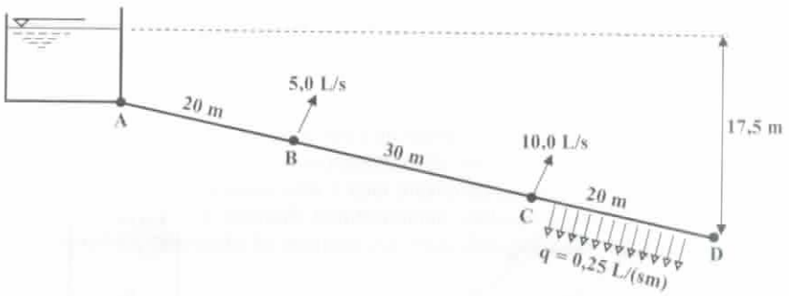
4.20 - No sistema de distribuição de água mostrado na figura todas as tubulações têm coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Willians C = 140. Qual deve ser a vazão unitária de distribuição q, ao longo do trecho AB, de modo que as vazões que chegam aos reservatórios C e D sejam iguais. Despreze as cargas cinéticas e as perdas de carga localizadas nas tubulações.

[q = 0,0366 L/(sm)]



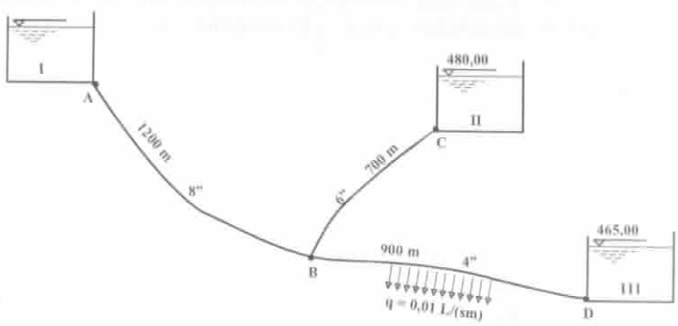
4.21 - Determinar o diâmetro constante de um conduto retilíneo AD, do qual se derivam vazões de 5 L/s e 10 L/s em B e C, respectivamente, e ao longo do trecho CD há uma distribuição em marcha de q = 0,25 L/(sm). No ponto D, ponta seca, a carga de pressão deve ser no mínimo de 15 mH_2O. Assuma, para todos os tubos, o fator de atrito f = 0,021. Despreze a carga cinética e as perdas localizadas.

[D = 0,10 m]



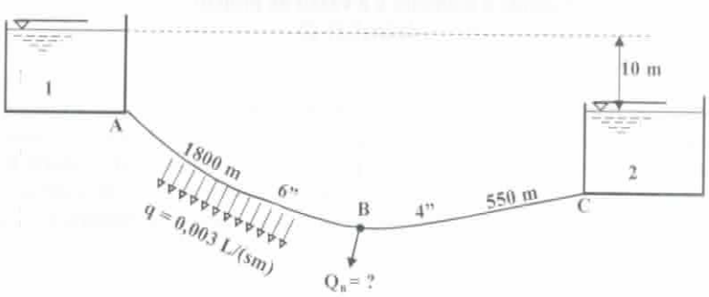
4.22 - No esquema mostrado na figura a vazão que chega ao reservatório III é 7,5 L/s. No trecho BD há uma distribuição em marcha uniforme com taxa q = 0,01 L/(sm). Determine a vazão que sai do reservatório I e a cota do nível d'água neste reservatório. Despreze as cargas cinéticas e as perdas localizadas. Material das tubulações, aço soldado com revestimento especial.

[Q = 40,30 L/s; N.A = 499,82 m]



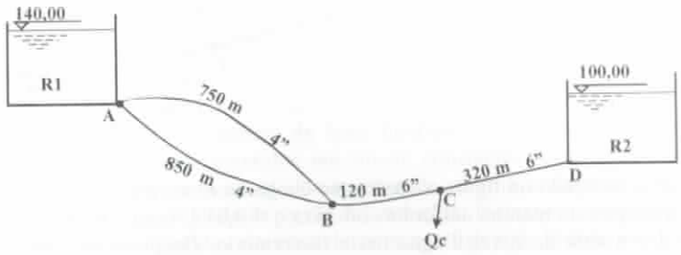
4.23 - Para o esquema mostrado na figura, no qual na tubulação AB há uma distribuição em marcha com vazão uniforme q = 0,003 L/(sm), determine a gama de valores da vazão de saída Q_B, de modo que entre as perdas de carga nas tubulações exista a relação: $\Delta H_{AB} \geq 4 \cdot \Delta H_{CB}$. Coeficiente de rugosidade das tubulações C = 100. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas.

[$4{,}28 \leq Q_B \leq 14{,}72$ L/s]



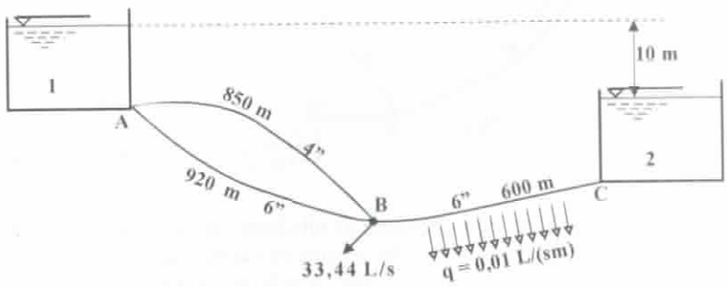
4.24 - Qual deve ser a vazão retirada no ponto C, para que a vazão afluente ao reservatório 2 seja 15 L/s. Material das tubulações aço com juntas *lock-bar*, tubos novos. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas.

[Q = 17,67 L/s]



4.25 - No sistema de transporte de água mostrado na figura abaixo, todas as tubulações são de ferro fundido com 15 a 20 anos de uso. Utilizando a fórmula prática de Hazen-Williams e desprezando as perdas de carga localizadas e as cargas cinéticas, determine a vazão que chega (ou sai) ao reservatório (2). No trecho BC existe uma distribuição em marcha com taxa constante e igual a q = 0,01 L/(sm). Os reservatórios são mantidos em níveis constantes e a vazão de saída do sistema no ponto B é 33,44 L/s.

[Q = 13,77 L/s, sai]



4.26 - O projeto de uma adutora em aço galvanizado, ε = 0,15 mm, está sujeito aos seguintes condicionamentos: a perda de carga unitária deve ser igual a 2,0 m/100 m e o número de Reynolds de rugosidade igual a 10,5. Calcule o diâmetro e a vazão de projeto.

[D = 0,10 m ; Q = 10,2 L/s]

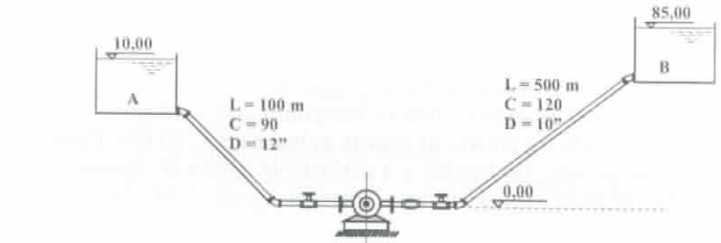
4.27 - Uma tubulação de ferro fundido novo de 6" de diâmetro, 1200 m de comprimento, descarrega uma determinada vazão, livremente na atmosfera, em um ponto 15m abaixo da superfície livre do reservatório abastecedor. Qual o aumento percentual na vazão descarregada quando for instalado, a partir do ponto médio da adutora, um trecho em paralelo com 4" de diâmetro, 600 m de comprimento, mesmo material e terminando na mesma cota geométrica. Despreze a carga cinética e as perdas localizadas.

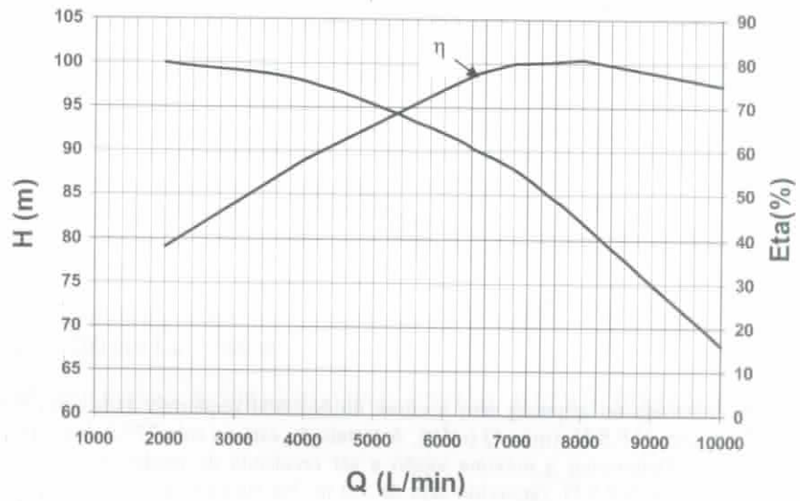
[ΔQ = 14%]

CAPÍTULO 5 – SISTEMAS ELEVATÓRIOS - CAVITAÇÃO

5.1 – Uma bomba cuja curva característica é mostrada na figura, recalca água do reservatório A para o B. Determinar o ponto de funcionamento da bomba (H_m, Q, η) e a potência requerida. Considerando a carga cinética determine a cota piezométrica na entrada da bomba. A bomba está bem escolhida para o caso? Assumindo bombeamento contínuo e coeficiente da fórmula de Bresse K = 0,7, verifique se a tubulação de recalque está bem dimensionada. Despreze as perdas de carga localizadas.

[H_m = 88 m; Q = 6900 L/min; η = 80%; $C.P_a$ = 8,20 m; a bomba e a tubulação estão bem escolhidas]

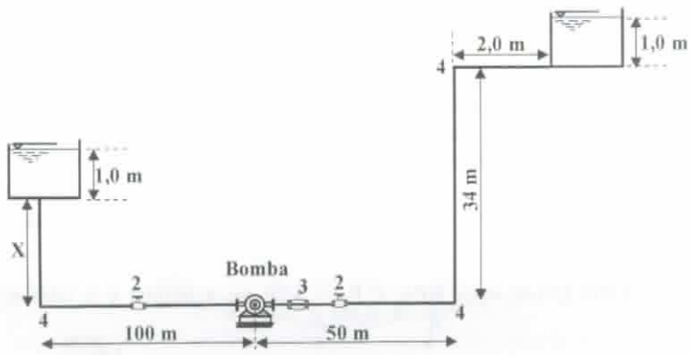




5.2 – No sistema de recalque mostrado deseja-se transportar uma vazão de 30 L/s de água pela instalação de uma bomba com rotação de 3500 r.p.m. Sabendo que a altitude do local de instalação é 995,00 m e que a pressão de vapor da água a 20° C é 0,24 m, determine o mínimo valor de **X** para hão ocorrer cavitação. Classifique o tipo da bomba. Diâmetro da sucção e recalque D = 125 mm, coeficiente de rugosidade do material das tubulações C = 120.

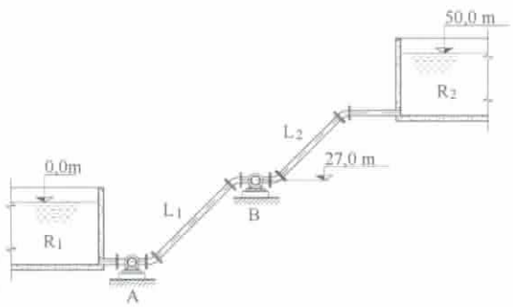
Na figura: 2 – registro de gaveta aberto
3 – válvula de retenção leve
4 – curva 90° (R/D = 1)
- entrada e saída

[X = 2,04 m; Centrífuga normal]



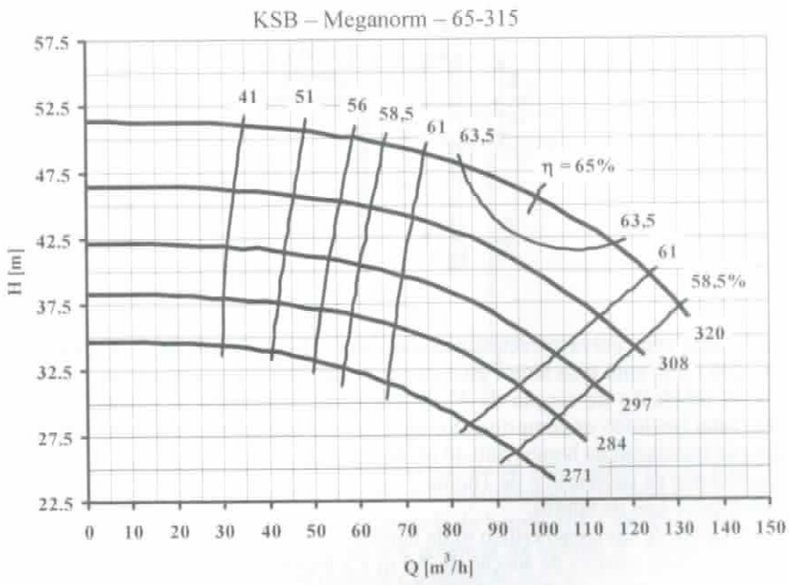
5.3 – O sistema de bombeamento mostrado na figura consiste de dois segmentos de tubos de mesmo diâmetro e igual a 750 mm, fator de atrito f = 0,023 e comprimentos L_1 = 5000 m e L_2 = 7500 m. A bomba A tem potência de 10^3 kW e a pressão na entrada da bomba B é 150 kPa. Determine a vazão recalcada, as alturas manométricas das bombas e a potência da bomba B. Ambas as bombas têm rendimento igual a 75%. Despreze a carga cinética e a perda na sucção da bomba A.

[Q = 0,963 m^3/s; H_A = 79,47 m; H_B = 63,44 m; Pot_B = 797,45 kW]



5.4 - A bomba mostrada no esquema tem a curva do N.P.S.H requerido dada por: $N.P.S.H_r = 5175Q^2 + 79,72Q$, com $N.P.S.H_r$ (m) e Q (m^3/s). A instalação está na cota 777,0 m e a temperatura da água é de 20°C. Determinar a máxima vazão a ser recalcada de modo que a folga entre o N.P.S.H. disponível e o N.P.S.H. requerido seja de 3,0 m. Na sucção há uma válvula de pé com crivo e uma curva 90° R/D = 1. Diâmetro da sucção 4". Utilize a equação de Hazen-Williams com C = 140 (material metálico).

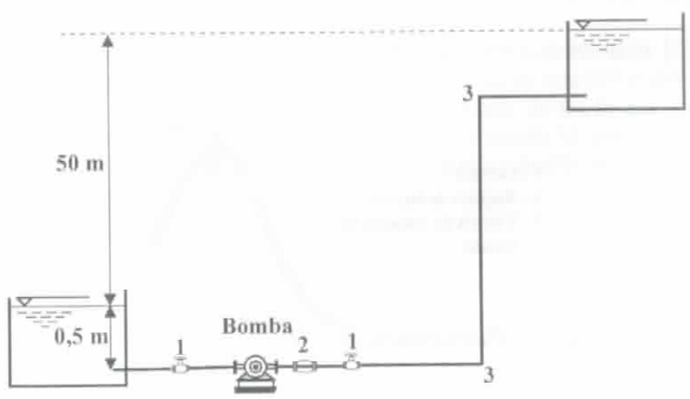
[Q_{max} = 0,018 m^3/s]



5.7 - No sistema mostrado na figura deseja-se uma vazão de 40 L/s através da colocação de uma bomba centrífuga com rotação n = 3500 r.p.m. Sabendo que a carga de pressão atmosférica no ponto de instalação da bomba é 9,1 mH_2O e a pressão de vapor da água a 20° C é 0,24 mH_2O, determine a máxima distância que pode haver entre a bomba e o reservatório de montante, levando em conta as perdas de carga localizadas, para não ocorrer cavitação. Coeficiente de rugosidade do material (metálico) das tubulações C = 120, diâmetro da sucção e do recalque D = 6". Comprimento total da linha 100 m.

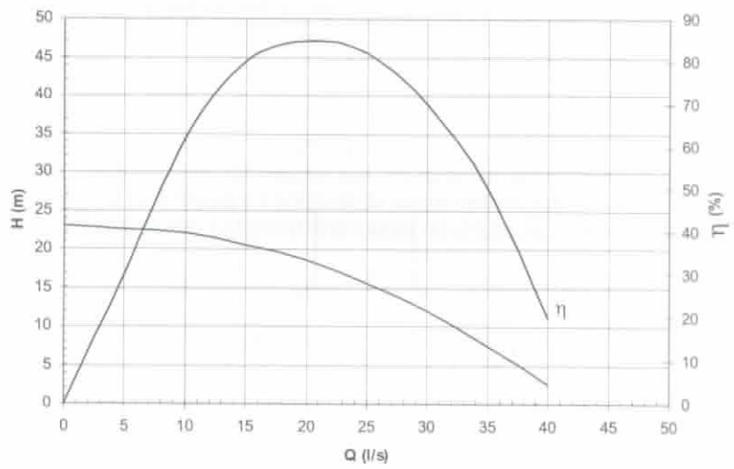
(1) – registro de gaveta aberto.
(2) – válvula de retenção leve.
(3) – curva 90° R/D = 1.
(B) – bomba.

[L_{max} = 53,23 m]



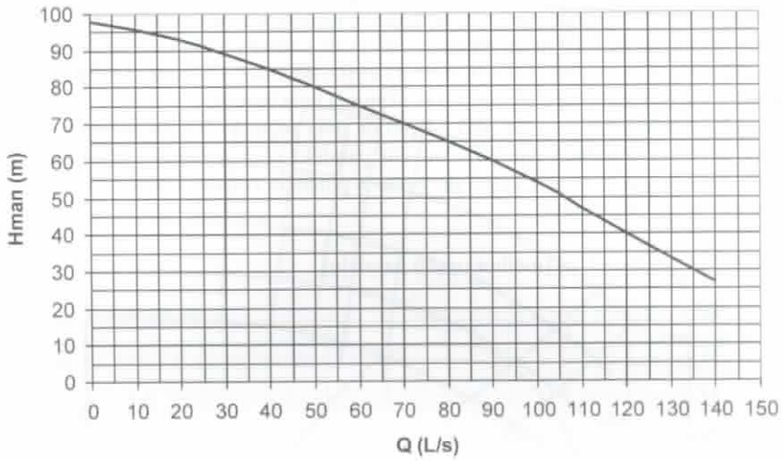
5.8 – A curva característica de uma bomba centrífuga, em certa rotação constante, é mostrada no gráfico anexo. A bomba é usada para elevar água vencendo uma altura geométrica de 12,5 m, por meio de uma tubulação de 0,10 m de diâmetro, 65 m de comprimento (incluindo os comprimentos equivalentes das peças existentes) e coeficiente de atrito, suposto constante, f = 0,020.
a) Determinar a vazão recalcada e a potência consumida pela bomba.
b) Necessitando-se aumentar a vazão pela adição de uma segunda bomba idêntica, investigue se a nova bomba deve ser instalada em série ou em paralelo com a bomba original. Justifique sua resposta pela determinação do acréscimo de vazão e potência consumida por cada bomba. Faça os comentários que achar pertinentes.

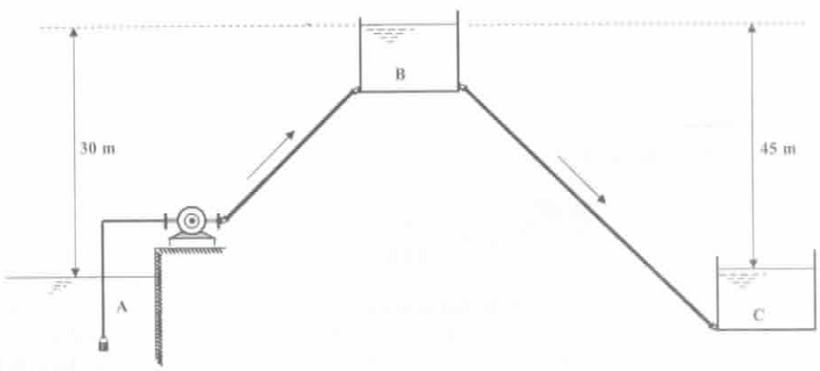
a) [Q ≈ 22 L/s; Pot ≈ 6,0 c.v]; b) [melhor opção paralelo]



5.9 – O esquema mostrado na figura é de um sistema de bombeamento de água de um manancial (ponto A) para uma caixa de passagem (ponto B), da qual a água segue por gravidade para a ETA (ponto C). Sabendo que a curva característica da adutora de recalque (A-B) é dada por $\Delta H = 0{,}00235\ Q^2$, em que ΔH (m) e Q (L/s), determine a vazão recalcada e o(s) diâmetro(s) da tubulação por gravidade B-C, de 3500 m de comprimento, de modo que o nível d'água na caixa de passagem permaneça constante. Dimensione o trecho B-C usando a equação de Hazen-Williams com coeficiente de rugosidade C = 120. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas. Dado: curva característica da bomba.

[Q ≈ 100 L/s; L_1 = 1770 m de 12" e L_2 = 1730 m de 10"]





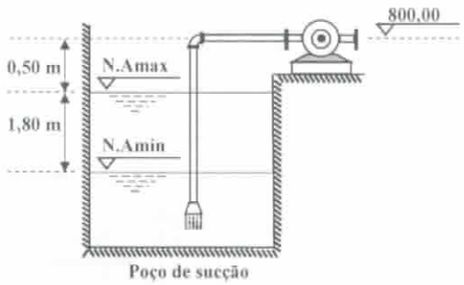
5.10 – Um sistema de abastecimento de água, conforme figura, tem as seguintes características: temperatura da água 20°C, cota de instalação da bomba 800 m, perda de carga na sucção ΔHs = 0,70 m, N.P.S.H. requerido pela bomba, para a vazão de recalque, 6,48 m. Pede-se:

a) a bomba está funcionando normalmente? Justifique a resposta por meio de cálculos. Em caso negativo, que fenômeno pode estar ocorrendo durante seu funcionamento?

b) que solução prática você recomenda para ser utilizada visando à solução de eventuais problemas de funcionamento da bomba? Justificar com cálculos, por meio do uso da equação de resistência $\Delta H(m) = K\, Q^2/D^5$.

Obs: assuma que a vazão recalcada pela bomba é praticamente constante, estando o N.A no poço de sucção no nível máximo ou no nível mínimo.

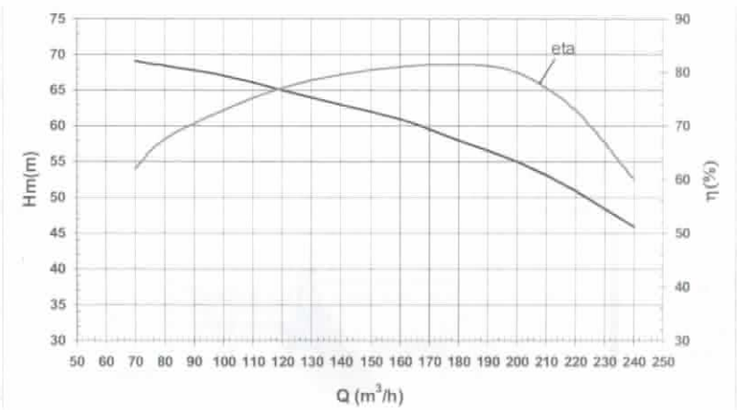
a) [Não, cavitação]; b) [aumentar o diâmetro, no mínimo, 10%]



5.11 – São dadas as curvas características Hm = f(Q) e η = f(Q), de uma bomba centrífuga com rotação de 1750 rpm, instalada em um sistema de recalque composto por dois reservatórios abertos e em níveis constantes, um com N.A = 455,00 m e outro N.A = 500,00 m, ligados por uma tubulação de 150 mm de diâmetro e comprimento total equivalente de 700 m. A perda de carga unitária na tubulação é dada por: $J = 1{,}15 \times 10^{-8}\ Q^2/D^5$, com J (m/100m), Q ($m^3$/h) e D (m). Determine:

a) O ponto de funcionamento do sistema Hm, Q, η, potência necessária à bomba (c.v) para o diâmetro original de 150 mm e a potência do motor elétrico comercial.
b) Qual deve ser o diâmetro comercial mínimo da tubulação para permitir uma vazão $Q \geq 200$ m^3/h? Justifique.
c) Nas condições do item b), haverá necessidade de se trocar o motor?

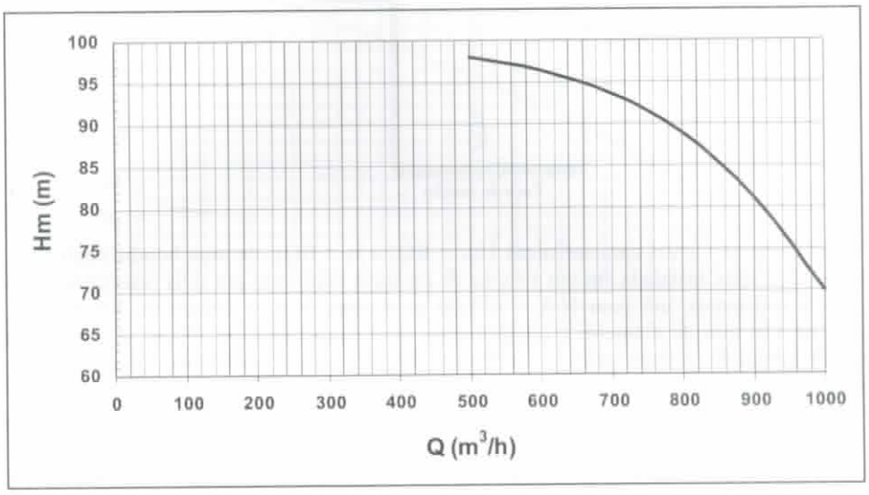
a) [$H_m \approx 63{,}5$m; $Q \approx 134$ m^3/h; $\eta \approx 79\%$; Pot = 39,89 c.v; Pot_m = 50 h.p]; b) [D = 0,20 m]
c) [Sim, Pot_m = 60 h.p]



5.12 - A figura mostra a curva característica de uma associação em paralelo de três bombas iguais. O sistema de bombeamento para o qual as bombas serão utilizadas tem as seguintes características: diâmetro da tubulação D = 400 mm; fator de atrito f = 0,018; comprimento total (sucção mais recalque) L = 2480 m e altura geométrica H_g = 70 m.
Nestas condições determinar:

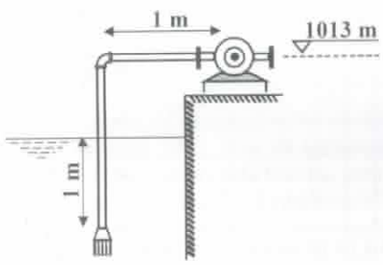
a) O ponto de funcionamento da associação (Q_a, H_a).
b) O ponto de trabalho de uma bomba na associação (Q_1, H_1).
c) O ponto de funcionamento de uma única bomba funcionando (demais desligadas) (Q, H).

a) [Q_a = 810 m^3/h; H_a = 88 m]; b) [Q_1 = 270 m^3/h; H_1 = 88 m]; c) [Q = 330 m^3/h; H = 73 m]



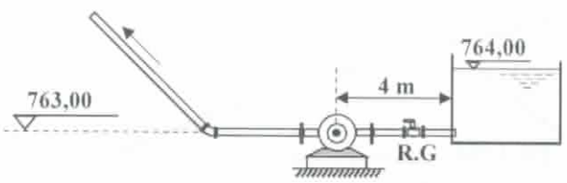
5.13 - A bomba da instalação mostrada abaixo tem curva do N.P.S.H. requerido, para uma rotação de 1750 r.p.m e diâmetro do rotor de 110 mm, mostrada na figura. Determine a máxima altura estática de sucção admissível, quando a vazão for de 10 m^3/h. A tubulação de sucção em aço galvanizado novo (C = 130) tem diâmetro igual a 50 mm, uma válvula de pé com crivo e um cotovelo 90° raio médio. Assuma: carga de pressão de vapor da água: 0,24 mH_2O.

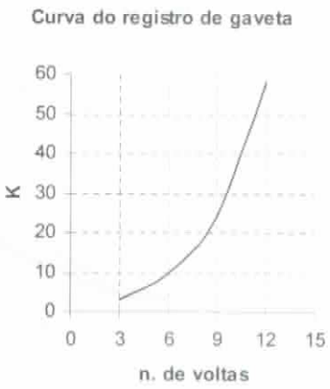
[Z_{max} = 2,61 m].



5.14 — O sistema de elevação mostrado na figura possui na tubulação de sucção de 4" de diâmetro (C = 100) um registro de gaveta parcialmente fechado, cuja curva característica (K x n°.de voltas) é apresentada no gráfico. O NPSHr pela bomba, para uma vazão de 10 L/s é igual a 6,0 m. Determine qual o número máximo de voltas a ser dado no registro para que a folga entre o NPSHd e o NPSHr seja de 2,0 m. Temperatura da água 20° C.

[Aproximadamente 9 voltas]





5.15 - A instalação de recalque mostrada na figura possui duas bombas iguais associadas em paralelo, vencendo um desnível geométrico de 30 m. No gráfico abaixo são apresentadas as seguintes curvas características da instalação.

C1 – curva característica da tubulação 1 (T-1).

C2 - curva característica da tubulação 2 (T-2).

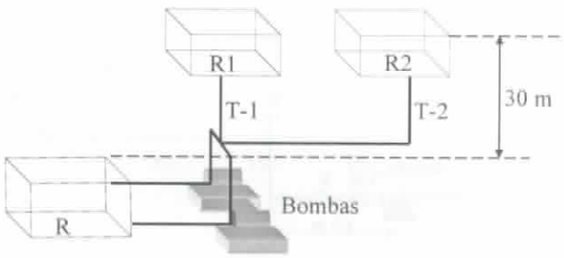
CB2 – curva resultante de 2 bombas iguais associadas em paralelo.

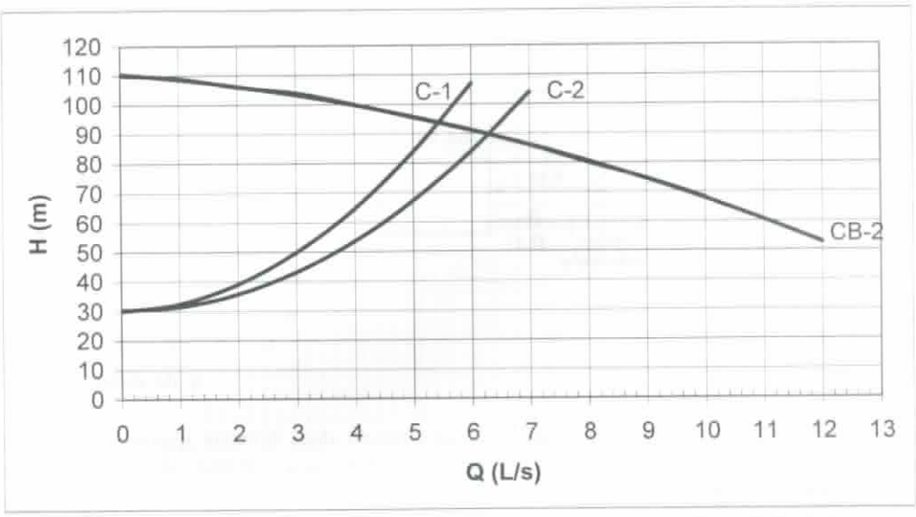
Determine:

a) a vazão em cada tubulação com as duas bombas funcionando.
b) a vazão em cada tubulação com apenas uma bomba ligada.
c) o ponto de funcionamento do sistema estando as 2 bombas ligadas.
d) a vazão na tubulação 2 (T-2) caso o registro da tubulação T-1 fosse totalmente fechado e as 2 bombas funcionando.

Fonte: Fundamentos de Engenharia Hidráulica – Baptista, M. M & Pinto Coelho, M.M.L. – UFMG – 2002.

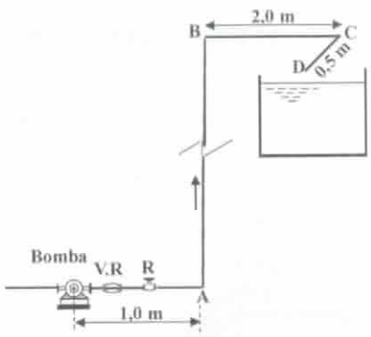
a) [Q_1 = 4,3 L/s; Q_2 = 5,2 L/s]; b) [Q_1 = 2,7 L/s; Q_2 = 3,4 L/s]; c) [Q = 9,6 L/s; H = 70 m]; d) [Q = 6.4 L/s]





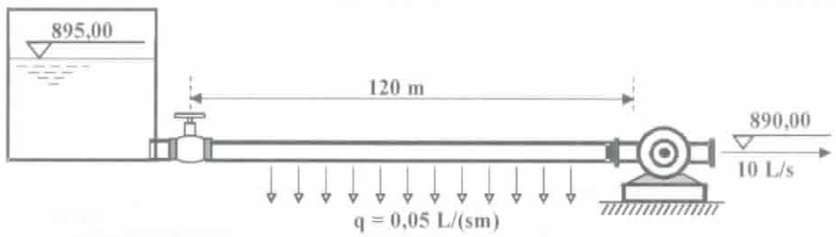
5.16 - O esquema mostrado na figura é de um sistema de recalque de um prédio de apartamentos. A vazão de recalque é 3,0 L/s, a bomba trabalha 6 horas por dia, a tubulação é de aço galvanizado novo, os cotovelos 90° de raio curto, o registro de gaveta e a válvula de retenção tipo leve. Um manômetro colocado na saída da bomba indica uma pressão de 294 kPa. Qual deverá ser o comprimento vertical AB para que a carga de pressão disponível na entrada da bóia do reservatório superior (ponto D) seja 2,5 mH_2O? O trecho BCD está na horizontal.

[AB ≈ 24 m]



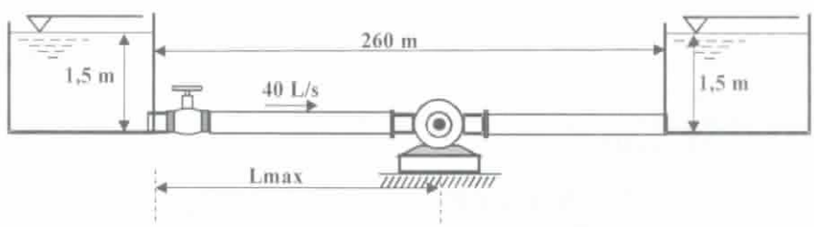
5.17 - O esquema de bombeamento mostrado na figura consiste em um reservatório fechado (pressão atmosférica), mantido em nível constante, e uma tubulação de sucção de cobre com 4" de diâmetro e 120 m de comprimento com uma distribuição de vazão em marcha constante com taxa q = 0,05 L/(sm). O coeficiente de perda localizada na entrada da tubulação vale k_e = 0,5 e do registro de ângulo k_r = 5,0. Para uma temperatura da água de 40 °C, determine o N.P.S.H. disponível da instalação e a carga de pressão na entrada da bomba. A vazão de recalque pela bomba vale 10 L/s. Assuma como fator de atrito da tubulação f = 0,014.

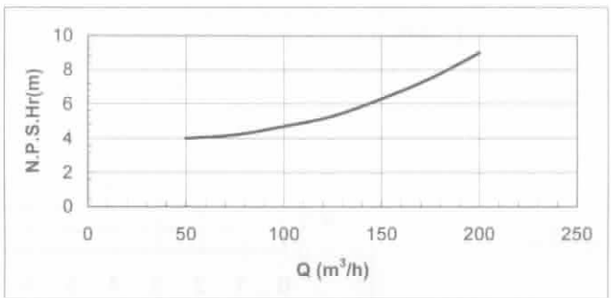
[N.P.S.Hd = 10,1 m; P/γ = 1,41 mH_2O]



5.18 – No sistema de bombeamento mostrado na figura, deseja-se recalcar uma vazão de 40 L/s através da colocação de uma bomba cuja curva do N.P.S.H. requerido é dada na figura. Sabendo que a altitude do ponto de instalação da bomba é 758,00 m e que a pressão de vapor da água a 20 °C é 0,24 mH_2O, determine a máxima distancia que pode haver entre a bomba e o reservatório de montante para que a folga entre o N.P.S.H disponível e o requerido seja de 4,0 m. A tubulação tem diâmetro de 8" e o coeficiente de rugosidade C = 130. O registro colocado na entrada da tubulação é de gaveta, aberto.

[$L_{max} \approx 81$ m]



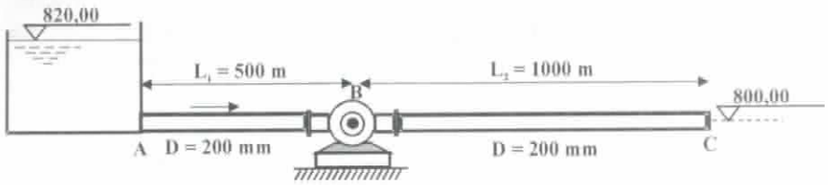


5.19 - A bomba B instalada no sistema de recalque mostrado abaixo tem curva característica, em uma determinada rotação, dada por: $Hm = 20 - 500 \cdot Q^2$ com Hm (m) e Q (m^3/s). Sendo o fator de atrito das tubulações de sucção e recalque igual a f = 0,025, e tendo elas o mesmo diâmetro D = 200 mm, determine:

a) a vazão recalcada.
b) trace a linha piezométrica indicando as cotas piezométricas imediatamente antes e depois da bomba.
c) se, para a vazão calculada no item a, o N.P.S.H requerido pela bomba vale 4,5 m, verifique se há possibilidade cavitação na bomba. Justifique

Dados: temperatura da água: 25 °C, a seção C é saída livre, despreze a carga cinética e as perdas localizadas.

a) [Q = 0,06265 m^3/s]; b) [C.P_a = 807,32 m; C.P_d = 825,38 m]; c)[Não há]

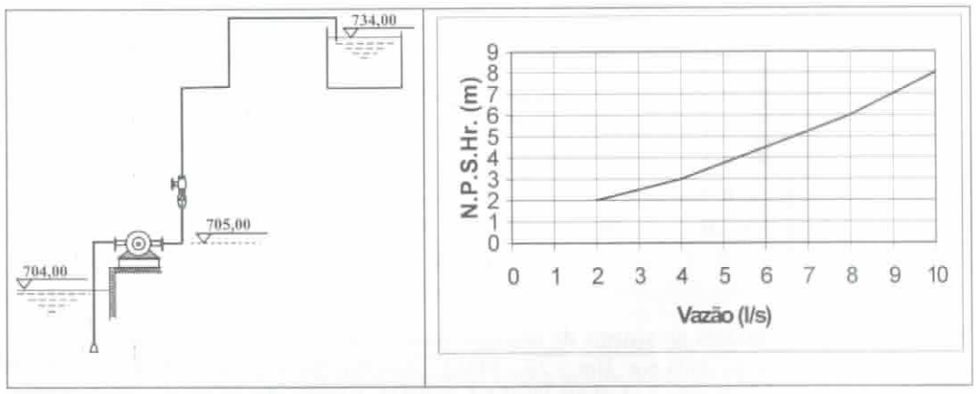


5.20 - O sistema de recalque mostrado na figura é constituído de tubos de aço galvanizado novo. Adotando: adução 24 h/dia, coeficiente da fórmula de Bresse K = 0,90, rendimento da bomba 65% , temperatura da água 20 °C, vazão recalcada 7,0 L/s, comprimento real da tubulação de sucção 2,5 m, comprimento real da tubulação de recalque 85 m, curvas 90° R/D = 1 e equação de resistência de Hazen-Williams, determine:

a) os diâmetros de sucção e de recalque de forma mais econômica e conveniente
b) as cotas piezométricas imediatamente antes e após a bomba, considerando as cargas cinéticas nas tubulações.
c) a potência necessária à bomba e ao motor elétrico comercial, em h.p.
d) o N.P.S.H disponível pela instalação e a folga de operação com relação ao N.P.S.H requerido pela bomba e fornecido no gráfico anexo.

Na instalação há uma válvula de pé com crivo, um registro de gaveta, uma válvula de retenção leve e as curvas são de 90° com R/D = 1.

a) [D_r = 3"; D_s = 4"; b) [C.P_a = 703,6 m; C.P_d = 737,90 m]; c) [Pot_b = 4,93 c.v; Pot_m = 7,5 h.p]; d) [N.P.S.H 8,91 m; folga = 3,71 m]

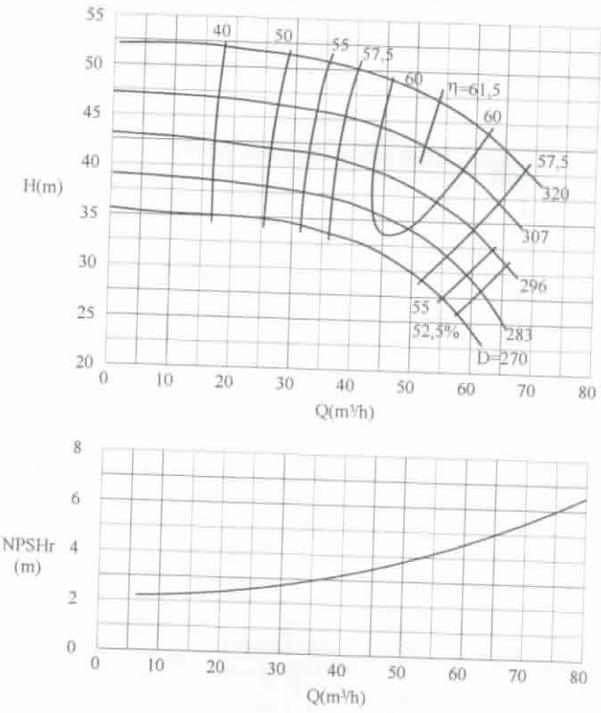


5.21 - Uma bomba centrífuga caracterizada pelo diagrama em colina mostrado na figura, é utilizada para bombear água de um poço para um reservatório elevado, através de uma adutora em aço soldado, C = 120, com comprimento total de 450 m e diâmetro de 5". A diferença de cotas entre a superfície da água no poço e a superfície livre do reservatório elevado é de 28 m. A bomba, não afogada, tem tubulação de sucção com 8,0 m de comprimento e mesmo diâmetro do recalque.

a) escolha o menor diâmetro comercial do rotor da bomba, compatível com a elevação de uma vazão um pouco maior que 60 m^3/h e calcule a potência necessária à bomba.
b) determine, para a situação da alínea anterior, a máxima altura estática de sucção, acima da superfície do poço, para que se possa instalar o eixo da bomba.
c) determine a potência da bomba quando a vazão for regulada por uma válvula, para que a bomba funcione no ponto de máximo rendimento, com o rotor determinado na alínea a.
Obs: Adote como perda de carga localizada na sucção, um valor 255% da perda distribuída neste trecho. Pressão barométrica local: $P = 0{,}95 \times 10^5$ N/m^2, temperatura da água $t = 20$ °C.

a) [d = 307 mm; Pot = 15,3 c.v]; b) [Z_{max} = 4,05 m]; c) [Q ≈ 52 m^3/h; Hm = 42,5 m; η = 61,5%; Pot = 13,3 c.v]

KSB – Meganorm – 50-315



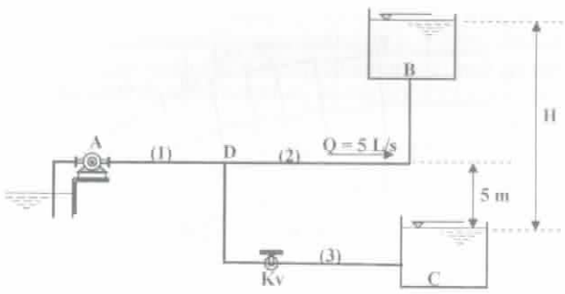
5.22 - Um conjunto elevatório deverá ser especificado para operar nas seguintes condições. Líquido, água a 20°C, vazão a ser recalcada Q = 15 L/s, cota de instalação da bomba igual a 845 m, altura estática de sucção igual a 1,5 m (bomba não afogada), material das tubulações aço galvanizado sem costura, ε = 0,15 mm, altura geométrica, H_g = 23 m, funcionamento contínuo, 24 h/dia, coeficiente da fórmula de Bresse K = 0,82, comprimento da tubulação de recalque, 432 m e de sucção, 4,20 m, rotação escolhida para a bomba n = 1750 r.p.m. Nas tubulações constam os seguintes acessórios; sucção: válvula de pé com crivo e curva 90° R/D = 1,5; recalque: válvula de retenção tipo leve, registro de gaveta, duas curvas 45° e uma curva de 90° R/D = 1. Determine os diâmetros das tubulações de recalque e sucção, a potência necessária à bomba, a potência elétrica do motor comercial, a rotação específica da bomba e o seu tipo, e o N.P.S.H. requerido pela bomba, para a

vazão recalcada e a carga de pressão na entrada da bomba, considere a carga cinética. Assuma como rendimento da bomba, no ponto de funcionamento, $\eta = 65\%$.

[$D_r = 4"$; $D_s = 5"$; $Pot_b = 13{,}1$ c.v; $Pot_m = 15$ h.p; $N_s = 46{,}9$; centrífuga lenta; N.P.S.H = 7,13 m; $P/\gamma = -2{,}11$ mH_2O]

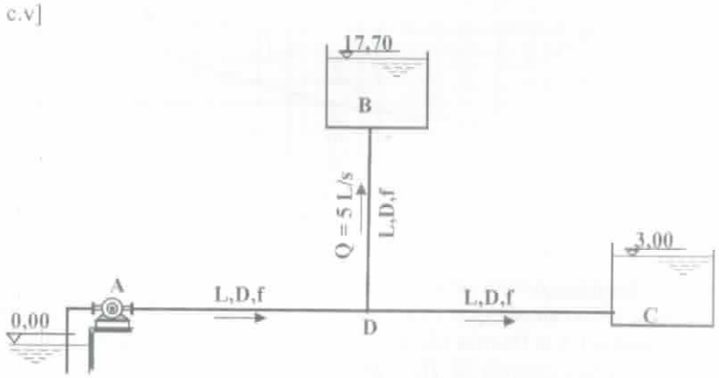
5.23 - Calcular a potência da bomba que tem um rendimento de 80%, para que a vazão na tubulação 2 seja 5 L/s. Os dados são: $L_1 = 75$ m, $D_1 = 75$ mm, $f_1 = f_2 = f_3 = 0{,}030$, $L_2 = L_3 = 100$ m, $D_2 = D_3 = 50$ mm, H = 10 m e $K_v = 15$ (coeficiente de perda de carga localizada). Despreze as perdas localizadas, exceto no registro. Despreze a altura estática de sucção da bomba e as perdas na sucção.

[Pot = 5,84 c.v]



5.24 - Para o sistema de tubulações mostrado abaixo, calcular a potência necessária à bomba, em c.v., de modo que a vazão que chega ao reservatório B seja 5 L/s. Considere L = 210 m, D = 0,10 m, f = 0,025 e o rendimento da bomba 75%. Despreze as perdas localizadas, a carga cinética e as perdas na sucção da bomba.

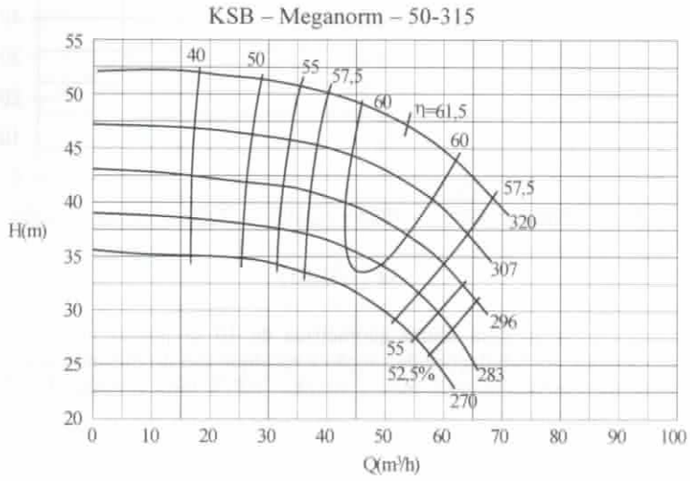
[Pot = 18,85 c.v]



5.25 - Um conjunto elevatório deverá ser especificado para operar nas seguintes condições. Líquido, água a 20°C, vazão a ser recalcada Q = 15 L/s material das tubulações C = 140, altura geométrica, $H_g = 21$ m, diâmetro da tubulação de recalque, $D_r = 0{,}10$ m, diâmetro da tubulação de sucção $D_s = 0{,}15$ m, comprimento total da tubulação de recalque, incluindo comprimentos equivalentes, 444,37 m e de sucção, 45,87 m, rotação escolhida para a bomba n = 1750 r.p.m. Determine o tipo da bomba

e no gráfico anexo, o diâmetro do rotor, rendimento no ponto de funcionamento, potência necessária à bomba e potência elétrica do motor comercial.

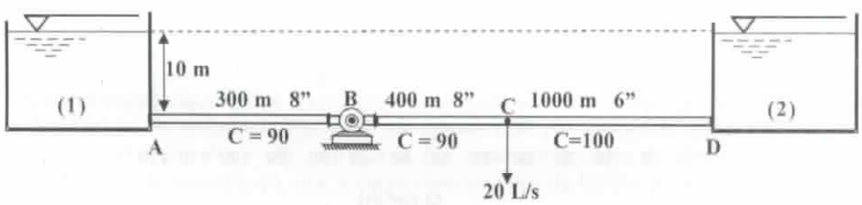
[Radial centrífuga lenta; rotor = 296 mm; $\eta \approx 60$ %; $Pot_b = 12{,}36$ c.v; $Pot_m = 15$ hp]

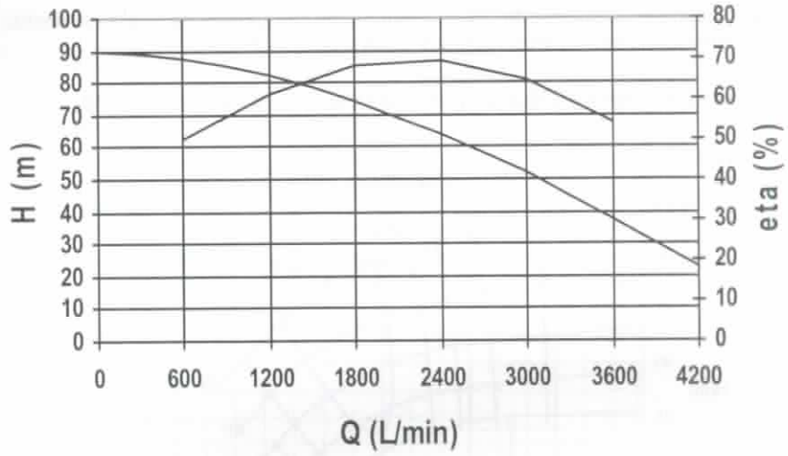


5.26 - Na figura abaixo a bomba B recalca água do reservatório (1) para o reservatório (2) e para a derivação do ponto C, onde é consumida uma vazão constante de 20 L/s. Com os dados da figura determine:

a) o ponto de funcionamento do sistema (H, Q e η), dada a curva característica da bomba.
b) a potência fornecida pela bomba, dada a curva de rendimento.

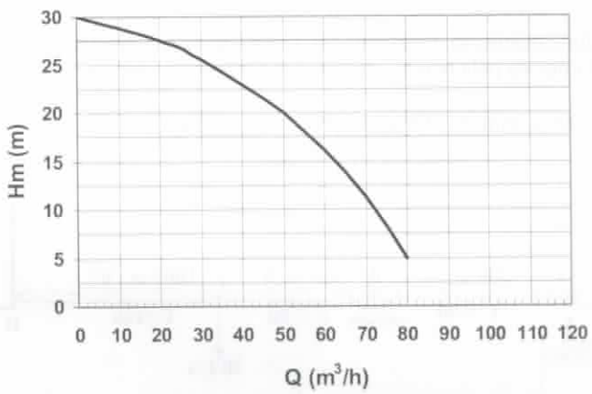
a) [H = 51 m; Q = 3000 L/min; $\eta \approx 64\%$]; b) [$Pot_b = 53{,}13$ c.v]





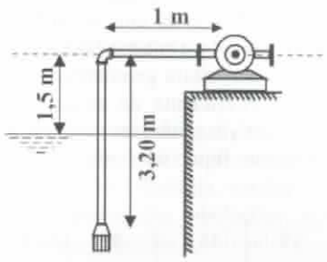
5.27 - Um sistema elevatório com altura geométrica de 10 m possui uma bomba com curva característica dada abaixo. As tubulações de sucção e recalque são do mesmo material e diâmetro e o manômetro instalado imediatamente após a bomba indica uma pressão de 171,50 kPa e o vacuômetro instalado imediatamente antes da bomba indica uma pressão de – 24,50 kPa (centro dos mostradores no mesmo nível). Usando a equação de Darcy-Weisbach, determine o ponto de funcionamento do sistema quando se instalam duas bombas iguais a atual, em paralelo.

[Q ≈ 62 m^3/h; Hm ≈ 25,5 m]



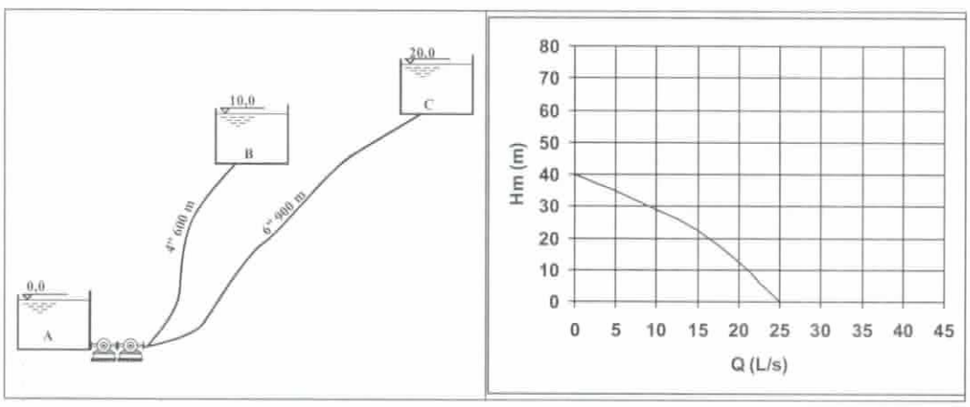
5.28 - A bomba mostrada no esquema deverá recalcar 60 m^3/h e para esta vazão o N.P.S.H. requerido é de 4,20 m. A instalação está na cota 630,00 m e a temperatura da água é de 20° C. Determinar o menor diâmetro comercial para a sucção a fim de não provocar cavitação. Para o diâmetro calculado qual a folga entre o N.P.S.H. disponível e o requerido? Na sucção existe uma válvula de pé com crivo e uma curva de 90° R/D = 1. Coeficiente de rugosidade do material da tubulação C = 100.

[D = 0,10 m; folga = 1,07 m]



5.29 - No sistema de recalque mostrado na figura, determinar as vazões que chegam aos reservatórios e a cota piezométrica após a segunda bomba. As bombas estão em série e é fornecida a curva característica de uma bomba. Coeficiente de rugosidade das tubulações C = 100.

[$Q_C \cong 11$ L/s; $Q_B \cong 9$ L/s; C.P $\cong 24{,}5$ m]



5.30 – A curva característica (H *x* Q) de uma bomba apresentada no catálogo do fabricante, para a rotação nominal ou de referência N_R, pode ser aproximada por um ajuste polinomial de segunda ordem na forma $H = a + bQ + cQ^2$, em que *a*, *b* e *c* são coeficientes de ajuste da curva. Mostre, usando as relações de semelhança, que a curva característica da bomba para uma rotação qualquer N, pode ser escrita como: $H = a\left(\frac{N}{N_R}\right)^2 + b\left(\frac{N}{N_R}\right)Q + cQ^2$.

5.31 - Uma bomba centrífuga tem diâmetro do rotor igual a 0,50 m e curvas características dadas na tabela abaixo. Desenhe as curvas características de uma bomba geometricamente semelhante tendo um rotor com diâmetro 10% maior e girando a mesma velocidade. Se as duas bombas operarem (separadamente) em um sistema que possui altura geométrica de 10 m, comprimento total da linha 400 m, diâmetro da adutora 0,30 m, coeficiente de atrito f = 0,024, determine os pontos de funcionamento das duas bombas e respectivas potências necessárias.
Assuma que o adimensional rendimento fique constante, entre pontos homólogos. Utilize uma planilha eletrônica.

H_m (m)	40	39	36,5	33	27	19	9
Q (m^3/s)	0.0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
η (%)		58	73	80,5	80	71	52

[Bomba 1; H = 25,5 m; Q = 0,215 m^3/s; η = 78 %; Pot = 93,72 c.v]
[Bomba 2; H = 34,5 m; Q = 0,275 m^3/s; η = 80 %; Pot = 158,13 c.v]

5.32 - As curvas características de uma bomba centrífuga, em uma rotação de 1750 r.p.m, são mostradas na tabela anexa. A bomba é usada para elevar água vencendo uma altura geométrica de 12,5 m, por meio de uma tubulação de 0,10 m de diâmetro, 65 m de comprimento (incluindo os comprimentos equivalentes das peças existentes) e coeficiente de atrito, suposto constante, f = 0,020.
a) Determinar a vazão recalcada, a altura manométrica, rendimento e a potência consumida pela bomba.
b) Necessitando-se aumentar a vazão do sistema elevatório foi instalado um variador de freqüência que permite aumentar a rotação da bomba em 10%. Qual o novo ponto de funcionamento da bomba (Q, H_m η e Pot). Assuma que o adimensional rendimento fique constante, entre pontos homólogos. Utilize uma planilha eletrônica.

H_m (m)	23,0	22,5	22,0	21,0	19,0	16,0	12,0	7,5	2,5
Q (L/s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
η (%)	0	30	62	80	84	82	70	50	20

a) [Q = 22,5 L/s; H = 17,5 m; η = 84%; Pot = 6,26 c.v]; b) [Q = 26,5 L/s; H = 20 m; η = 83%; Pot = 8,51 c.v]

5.33 - Testes feitos com uma bomba centrífuga, não afogada, indicam o aparecimento da cavitação para a altura manométrica de sucção H_s = 5 m, vazão de 60 L/s, altura manométrica total H_m = 40 m, pressão atmosférica local P = 96,63 kPa e pressão de vapor da água P_v/γ = 0,24 m.
a) determine o N.P.S.H_d e o coeficiente de cavitação de Thoma, despreze a carga cinética na sucção.
b) determine a máxima altura estática de sucção da bomba para operar com vazão de 65 L/s e altura manométrica total H_m = 35 m, nas condições P_{atm}/γ = 9,50 m, P_v/γ = 0,125 m e perda de carga total na sucção ΔH_s = 0,60 m.

a) [N.P.S.H_d = 4,62 m; σ = 0,116]; b) [Z_{max} = 4,72 m]

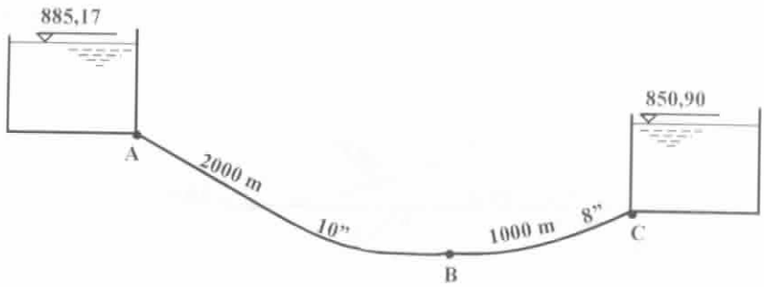
5.34 – Um fabricante de bombas deseja duplicar a altura manométrica e a vazão de uma bomba, com a construção de outra bomba geometricamente semelhante. Determine a alteração na velocidade de rotação e no diâmetro do rotor, sob as novas condições.

[$n_2 = 1{,}19\ n_1$; $D_2 = 1{,}19\ D_1$]

CAPÍTULO 6 – REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

6.1 – O sistema hidráulico gravitacional, mostrado na figura, foi projetado para o abastecimento de água de uma cidade e funciona 24h por dia. Utilizando os coeficientes $k_1 = 1,25$, $k_2 = 1,50$ e para uma taxa per capita de consumo igual a 150 L/hab/dia, verifique se dá para atender uma população de fim de plano igual a 18000 hab. Material das tubulações: aço soldado, tubos novos. Utilize a equação de Hazen-Williams desprezando as perdas localizadas e as cargas cinéticas

[Sim, é possível]



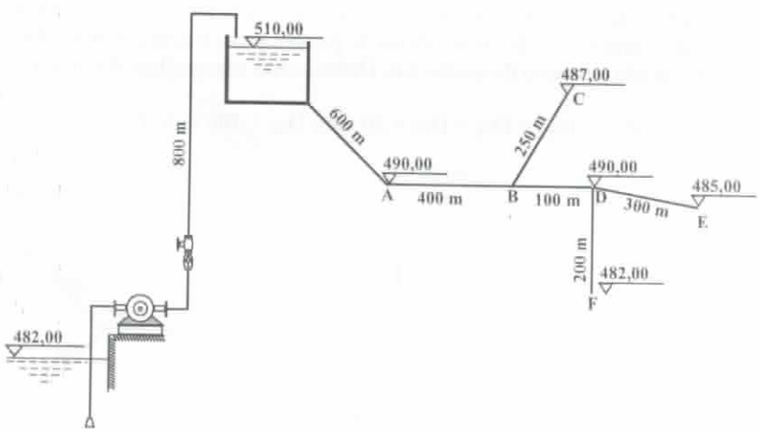
6.2 - No sistema hidráulico mostrado uma bomba recalca água para uma rede de distribuição, através de uma caixa de passagem com N.A mantido na cota 510,00. A jusante do ponto A existe uma distribuição em marcha com vazão constante e igual a q = 0,008 L/(sm). Todas as tubulações têm coeficiente de rugosidade C = 120 e estão indicadas todas as cotas topográficas. Os pontos C, E e F são pontas secas. Determinar:

a) todos os diâmetros.

b) a carga de pressão disponível nos pontos A, B, C, D, E, e F.

d) a potência do motor elétrico comercial para o conjunto elevatório.

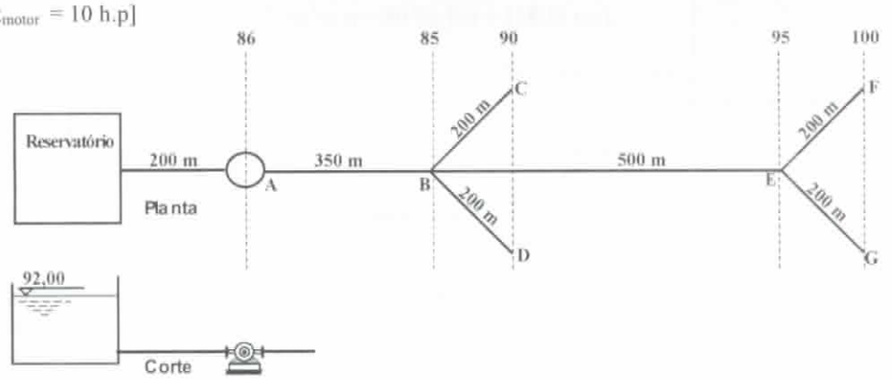
Assumir: rendimento da bomba de 65%, coeficiente da fórmula de Bresse K = 1,0 perda de carga na sucção 5% da perda no recalque, despreze as perdas localizadas no recalque e as cargas cinéticas.



[D_s = 125 mm; D_r = 100 mm; D_{RA} = 150 mm; D_{AB} = 150 mm; D_{BC} = 75 mm; D_{BD} = 100 mm; D_{DE} = 75 mm; D_{DF} = 60 mm]; [P_A/γ = 18,13 m; P_B/γ = 17,23 m; P_C/γ = 18,99 m; P_D/γ = 16,74 m; P_E/γ = 21,03 m; P_F/γ = 24,08 m] ; [Pot_m = 12,5 h.p]

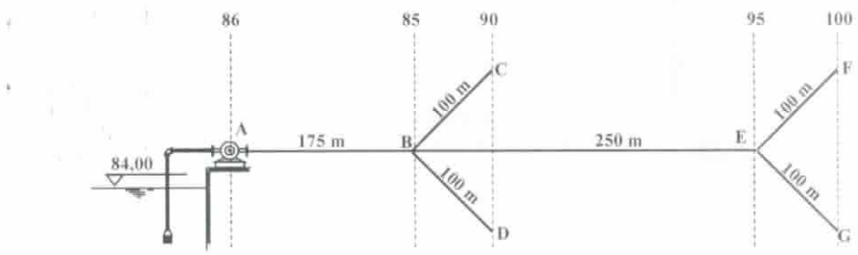
6.3 – A bomba (booster) do sistema de abastecimento mostrado na figura tem um rendimento de 65 % e injeta água diretamente na rede de distribuição. A partir do ponto A existe uma distribuição em marcha, para todos os trechos, com taxa q = 0,01 L/(sm). Dimensionar todos os diâmetros, a potência da bomba e do motor elétrico comercial, para que a mínima carga de pressão dinâmica na rede seja 15 mH_2O. Os pontos extremos da rede são pontas secas, vazão nula. Material das tubulações ferro fundido novo. Utilize a fórmula de Hazen-Williams e despreze as cargas cinéticas e as perdas localizadas. O nível d'água no reservatório de alimentação está na cota 92 m. Dados: cotas topográficas dos nós e da bomba.

[DresA = D_{AB} = 200 mm; D_{BC} = D_{BD} = D_{EF} = D_{EG} = 60 mm; D_{BE} = 125 mm; Pot_b = 8,84 c.v; Pot_{motor} = 10 h.p]



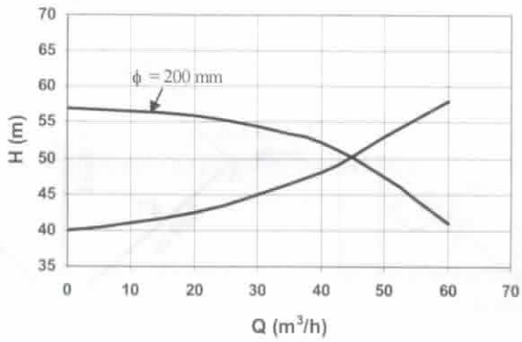
6.4 - A bomba do sistema de abastecimento mostrado na figura tem um rendimento de 65 % e injeta água diretamente na rede de distribuição. A partir do ponto **A** existe uma distribuição em marcha, para todos os trechos, com taxa constante q = 0,01 L/(sm). Dimensionar todos os diâmetros, a potência da bomba e do motor elétrico comercial, para que a mínima carga de pressão dinâmica na rede seja 15 mH_2O. Os pontos extremos da rede são pontas secas. Material das tubulações ferro fundido novo. Utilize a equação de Hazen-Williams e despreze as cargas cinéticas e as perdas localizadas. O nível d'água no reservatório de alimentação está na cota 84 m. Na tubulação de sucção, de 3,5 m de comprimento, há uma válvula de pé com crivo e uma curva 90° R/D = 1. Adote como diâmetro da sucção o mesmo do trecho AB. Dados: cotas topográficas dos nós.

[Ds = D_{AB} = 125 mm; D_{BC} = D_{BD} = D_{EF} = D_{EG} = 50 mm; D_{BE} = 100 mm; Pot_b = 5,54 c.v; Pot_{motor} = 7,5 h.p]



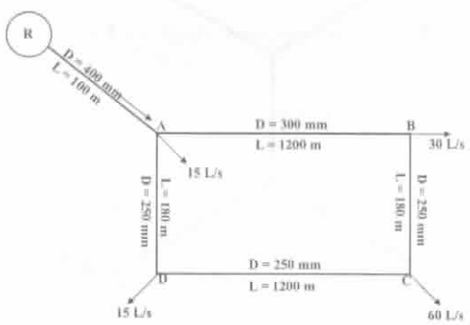
6.5 – O sistema de recalque para abastecimento de água de uma comunidade com cerca de 2800 pessoas, possui curvas características da tubulação e da bomba mostradas na figura. O diâmetro do rotor da bomba é 200 mm e a rotação 1750 r.p.m e no almoxarifado do Serviço de Águas há um rotor, da mesma bomba, de 210 mm de diâmetro. Trocando-se o rotor para o diâmetro de 210 mm, qual a população que poderia ser abastecida. Adote:
Coeficiente do dia de maior consumo $k_1 = 1,25$.
Cota per capita q = 200 L/hab/dia.
Número de horas de funcionamento do sistema 16 h.
Faça comentários sobre o motor elétrico e eventual cavitação.
Sugestão: releia o item 5.6 do livro "Hidráulica Básica"

[Aproximadamente 3400 habitantes]



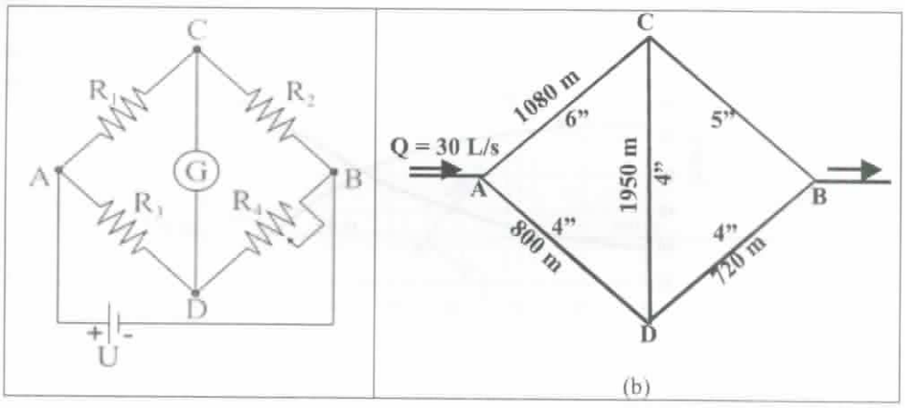
6.6 - Utilizar o método de Hardy Cross para determinar as cargas de pressão disponíveis nos hidrantes A, B, C e D da rede de proteção contra incêndio, mostrada na figura. Dados cotas topográficas dos nós e nível d'água no reservatório. Coeficiente de rugosidade das tubulações C = 120. Utilize o programa REDEM.EXE.

N.A	120,0 m
A	105,0 m
B	95,0 m
C	100,0 m
D	97,0 m



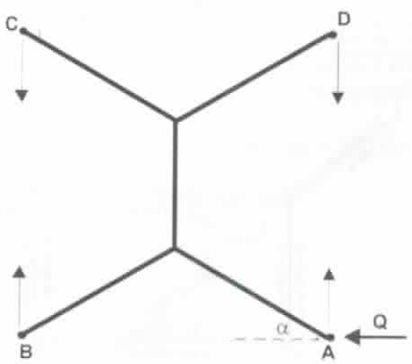
[$P_A/\gamma = 14,74$ m; $P_B/\gamma = 21,48$ m; $P_C/\gamma = 16,12$ m; $P_D/\gamma = 21,91$ m]

6.7 - A ponte de **Wheatstone** é uma montagem que serve para determinar, com boa precisão, o valor de uma resistência elétrica desconhecida. A ponte consiste em dois ramos de circuito contendo dois resistores cada um e interligados por um galvanômetro G. Todo conjunto deve ser ligado a uma fonte de tensão elétrica U.
Variando-se a resistência do reostato R_4, pode-se obter um ponto em que a indicação no galvanômetro G fica nula, corrente no trecho DC nula, aí a ponte é dita equilibrada e vale a relação $R_1R_4 = R_2R_3$.
Para o sistema hidráulico mostrado na figura (b), no qual a vazão de entrada é Q = 30 L/s e as tubulações são de aço soldado, tubos novos, determine qual deve ser o comprimento do trecho CB, de 6", de modo que a "ponte de Wheatstone hidráulica" esteja equilibrada. Observe que a solução independe da topografia da rede. Utilize a equação de Hazen-Williams.



[L_{CB} = 400 m]

6.8 – Os nós A, B, C e D da rede mostrada na figura, são vértices de um quadrado de lado L. Determine o ângulo α de modo que a extensão da rede, simétrica, seja a mínima possível. Determine a extensão das tubulações.



[$\alpha = 30^0$; Ext = 2,732 L]

CAPÍTULO 7 – ESCOAMENTO EM SUPERFÍCIE LIVRE

7.1 – Determine a relação entre os raios hidráulicos de uma seção circular com altura de água igual a R (raio do circulo) e uma seção semi-hexagonal com a mesma altura de água R.

[Relação = 1]

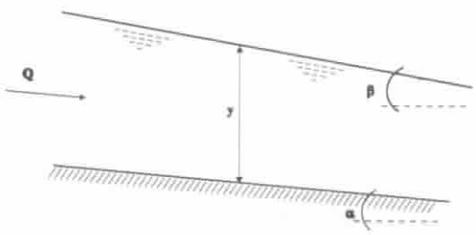
7.2 – Um canal trapezoidal com largura de fundo igual a 1,0 m e ângulos dos taludes de 45°, escoa certa vazão de modo que a altura média da seção molhada é 25% maior que o raio hidráulico. Determine a altura de água.

[y = 0,76 m]

7.3 – Com que declividade deve ser assentada uma galeria de águas pluviais, com 1,0 m de diâmetro e trabalhando a meia seção em regime permanente e uniforme (linha de água paralela ao fundo), de modo que a tensão média de cisalhamento no perímetro molhado seja 2,45 N/m^2.

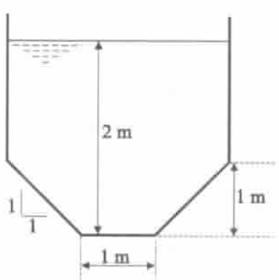
[$I_o = 10^{-3}$ m/m]

7.4 – Se o ângulo entre a superfície livre da água, em um canal, e o eixo horizontal é β e o ângulo entre o fundo do canal e o eixo horizontal é α, mostre que a pressão no fundo do canal é dada por: $P = \gamma y \frac{1}{1 + tg\alpha\, tg\beta}$, em que y é a altura de água medida verticalmente. Discuta a solução no caso particular em que α = β. Sugestão: relembre a Lei dos Senos.



7.5 – O canal cuja seção é mostrada na figura transporta uma vazão Q = 4,0 m^3/s. Classifique o escoamento. Viscosidade da água $\nu = 10^{-6}$ m^2/s.

[$Re_y = 6{,}86 \cdot 10^5$; Fr = 0,198; Escoamento turbulento e fluvial]



7.6 – A seção reta de um canal trapezoidal tem largura de fundo e altura de água iguais a 1,0 m, declividade dos taludes 2H:1V. Sendo a declividade de fundo do canal $I_o = 10^{-3}$ m/m, determine a velocidade de atrito na seção. Se a rugosidade absoluta do material de revestimento da seção for ε = 0,7 mm, verifique se esta superfície é lisa, rugosa ou de transição. Viscosidade da água $\nu = 10^{-6}$ m^2/s.

[$u_* = 0,0733$ m/s; transição]

7.7 - Água escoa ocupando toda a seção reta de um canal semi-hexagonal, revestido de concreto, com largura de fundo **b**. Determine o valor de **b** se a tensão média de cisalhamento nos taludes e fundo for $\tau_o = 2,55$ N/m^2. Declividade de fundo do canal $I_o = 0,001$ m/m.

[b = 0,60 m]

7.8 – Considere duas seções de canais, uma circular de 1 m de diâmetro, escoando a meia seção e outra triangular com ângulo de abertura de 90°, e altura de água igual à da seção circular. Se os números de Froude dos escoamentos nas duas seções forem iguais, mostre que entre a velocidade média na seção circular V_c e a velocidade média na seção triangular V_t, existe a seguinte relação:

$$\left[\frac{V_c}{V_t} = \sqrt{\frac{\pi}{2}}\right]$$

7.9 – Uma vazão de 1,0 m^3/s de água escoa ocupando toda a seção reta de um canal em forma de uma semi-elipse, com semi-eixo maior igual a 1,0 m e semi-eixo menor igual a 0,50 m. Qual o número de Froude do escoamento.

[Fr = 0,648]

7.10 – As velocidades medidas em várias alturas do escoamento em um canal trapezoidal de largura de fundo igual a 3,0 m, inclinação dos taludes 1H:1V (Z = 1) e altura de água de 1,20 m são listadas na tabela abaixo. Utilizando o programa COEF.EXE, determine a velocidade média e os coeficientes α e β.

[V = 0,73 m/s; $\alpha = 1,15$; $\beta = 1,06$]

y (m)	0,0	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
V (m/s)	0,0	0,67	0,73	0,77	0,81	0,83	0,82

7.11 - Água escoa em regime permanente e uniforme em um canal triangular simétrico, com ângulo de abertura α e altura de água igual a 1,0 m. Sendo a tensão média de cisalhamento nos taludes igual a τ_o = 2,45 N/m^2 e a declividade de fundo $I_o = 10^{-3}$ m/m, determine o ângulo de abertura α.
Observe que se o escoamento é permanente e uniforme, a perda de carga unitária J(m/m) é igual à declividade de fundo I_o (m/m).

[$\alpha = 60°$]

7.12 - Um conduto circular de 1,0 m de diâmetro transporta uma vazão de 0,5 m^3/s trabalhando a meia seção. Verifique a influência das forças viscosa e da gravidade avaliando os regimes de escoamento através da determinação dos números de Reynolds e Froude. Viscosidade da água $\nu = 10^{-6}$ m^2/s.

[Escoamento turbulento e fluvial]

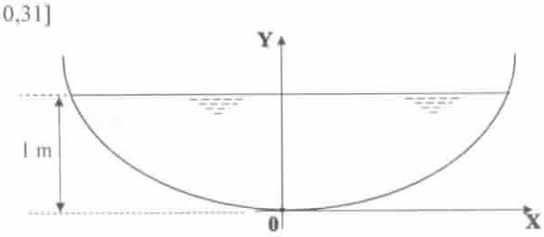
7.13 - Uma barragem será construída com concreto compactado a rolo (CCR) e o seu vertedor terá o paramento de jusante constituído por degraus resultantes das camadas de CCR. A fim de conhecer as características hidrodinâmicas do escoamento, experimentos laboratoriais por meio de um modelo em escala reduzida permitiram a obtenção do perfil de velocidades em uma determinada seção, que pôde ser ajustado pela equação $V / V_{máx} = (h / h_{máx})^n$. Mostre através da referida equação que o coeficiente α de Coriolis só depende do expoente "n". Para os dados experimentais listados a seguir, determine os valores de "n", "α" e, por meio da equação demonstrada no Problema 7.12 (Hidráulica Básica, 2006, p.236), calcule o coeficiente de Boussinesq.

$V/V_{máx}$	0,488	0,499	0,531	0,681	0,692	0,721	0,759	0,839	0,867	0,909	0,977	0,978	0,995
$h/h_{máx}$	0,065	0,061	0,085	0,249	0,304	0,312	0,300	0,538	0,542	0,569	0,919	0,953	0,997

[$\alpha = (n+1)^3/(3.n+1)$; $n \cong 0{,}25$; $\alpha = 1{,}12$; $\beta = 1{,}04$]

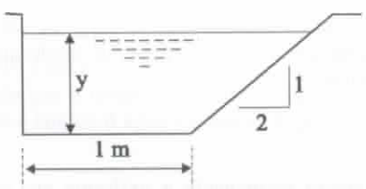
7.14 – Um canal com seção reta parabólica, na forma $Y = X^2/2$ conforme a figura transporta certa vazão com velocidade média igual a 0,80 m/s. Determine os números de Reynolds e Froude do escoamento. Viscosidade da água $\nu = 10^{-6}$ m^2/s.

[Rey $\approx 4{,}2 \cdot 10^5$; Fr = 0,31]



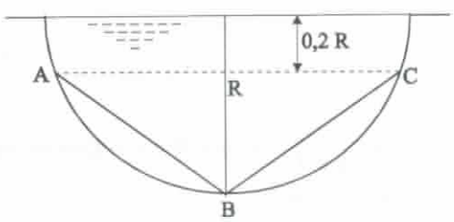
7.15 – Para a seção mostrada na figura determine a altura de água y, de modo que a altura hidráulica seja 40% maior que o raio hidráulico da seção.

[y ≈ 0,92 m]



7.16 – Determinar a relação entre o raio hidráulico do canal circular de raio R, trabalhando a meia seção e o canal triangular ABC com altura de água igual a 0,8R, conforme a figura.

[Relação = 1,614]



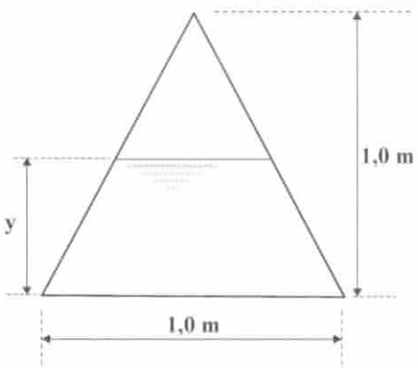
7.17 – Calcule a tensão média de cisalhamento sobre o perímetro molhado de uma calha triangular simétrica, de 1,20 m de altura e 3,00 m de largura no topo, quando a profundidade da água no escoamento uniforme for 1,00 m. A declividade de fundo é 1 m/500 m.

[$\tau = 7{,}66\ N/m^2$]

7.18 – Mostre que, para um canal prismático, com seção reta genérica existe a seguinte relação entre os números de Reynolds e Froude: $Re_y = \frac{\sqrt{g}}{\nu}\frac{B}{P_e}H_m^{3/2}\,Fr$, em que B é a largura na superfície livre, P_e o perímetro molhado da seção, H_m a altura hidráulica e ν viscosidade cinemática da água.

7.19 – Para a galeria de água pluviais de seção triangular mostrada na figura, determinar o valor da altura d'água y ($0 < y < 1{,}0$ m), tal que o raio hidráulico da seção seja máximo e o correspondente valor do raio hidráulico.

[$y = 0{,}60$ m ; $R_{Hmax} = 0{,}179$ m]



7.20 – Qual deve ser a altura de água, em determinada seção de um canal trapezoidal, com largura de fundo igual a 1,0 m e declividade dos taludes 1V:1,5H, de modo que a altura hidráulica da seção seja 15,8% maior que o raio hidráulico.

[$y = 1{,}20$ m]

7.21 – Mostre que no escoamento permanente e uniforme em um canal circular de diâmetro D, trabalhando a meia seção, existe a seguinte relação entre o número de Reynolds de rugosidade, Rey* e o número de Reynolds do escoamento, Rey, em que ε é o coeficiente de rugosidade da parede e f o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach : $Re_y^* = \frac{\sqrt{2f}\,\varepsilon}{D}Re_y$.

7.22 - Mostre que, para um canal prismático, com seção reta genérica, no escoamento permanente e uniforme, partindo da equação de Darcy-Weisbach na forma $I_o = \frac{f\,V^2}{D_H\ 2g}$, o número de Froude do escoamento é dado por: $Fr = 2\sqrt{2}\sqrt{\frac{B\,I_o}{P_e\,f}}$, em que B é a largura na superfície livre, P_e o perímetro molhado da seção e I_o a declividade de fundo.

CAPÍTULO 8 – CANAIS - ESCOAMENTO PERMANENTE E UNIFORME

8.1 – Um canal trapezoidal, em concreto n = 0,018, declividade de fundo I_o= 1/1000 m/m, inclinação dos taludes 1H:1V, foi projetado para trabalhar na condição de mínimo perímetro molhado e com tensão média de cisalhamento nas paredes e fundo igual a 4,9 N/m^2. Determine as dimensões da seção molhada e a vazão.

[b = 0,83 m; y_o = 1,0 m; Q = 2,02 m^3/s]

8.2 – Determinar a capacidade de vazão de uma galeria de concreto em boas condições, com seção capacete, funcionando com lâmina de água igual a 0,70 H, em que H é a altura interna da seção. Diâmetro da seção capacete igual a 1,20 m, declividade de fundo da galeria I_o = 0,15%. Calcule a velocidade média, a tensão média de cisalhamento e a velocidade de atrito.

[V = 1,38 m/s; τ = 5,22 N/m^2; u_* = 7,22·10^{-2} m/s]

8.3 – Um canal retangular com declividade de fundo I_o = 0,001 m/m, com paredes e fundo de concreto em condições regulares, deve transportar, em regime permanente e uniforme, uma vazão de 2,0 m^3/s. Qual deve ser a largura da seção para que a velocidade média seja máxima.

[b = 1,84 m]

8.4 – Uma galeria de água pluviais de 1,0 m de diâmetro, coeficiente de rugosidade n = 0,013, deverá ser projetada para trabalhar, em regime permanente e uniforme, com altura d´água y_o = 0,70D. Qual deve ser a declividade de assentamento da galeria, para que o número de Froude do escoamento não ultrapasse o valor 0,65 e a tensão média de cisalhamento no perímetro molhado seja menor que 8,7 N/m^2. Nestas condições determine a vazão.

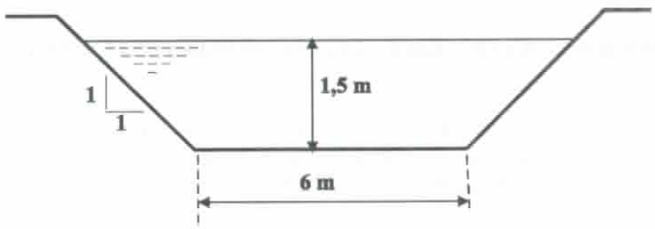
[I_{omax} = 2,27·10^{-3} m/m; Q = 0,956 m^3/s]

8.5 – Um emissário de esgoto com seção geométrica tipo capacete, de "diâmetro" D = 2,0 m, coeficiente de rugosidade n = 0,015 e declividade de fundo I_o = 0,0008 m/m foi projetado, na condição de escoamento uniforme, de modo que a tensão média de cisalhamento nas paredes e fundo seja 4,5 N/m^2. Nestas condições determine a lâmina d´água e a vazão de projeto.

[h = 1,356 m; Q ≈ 3,2 m^3/s]

8.6 – Tem-se um canal de seção trapezoidal mostrada na figura, executado em concreto em condições regulares, com declividade de fundo I_o = 0,04%. Determinar qual a vazão capaz de escoar em regime permanente e uniforme com profundidade d'água de 1,5 m. Determine a tensão média de cisalhamento nas paredes e fundo do canal e a velocidade de atrito. Esta seção é de mínimo perímetro molhado?

[τ_s = 4,30 N/m^2; u_* = 0,0656 m/s; Não]



8.7 - Um canal trapezoidal de 6 m de largura na superfície, 4 m de largura de fundo, inclinação dos taludes 45°, transporta, em regime permanente e uniforme, uma vazão de 14 m^3/s com lâmina d'água igual a 1 m. O coeficiente de rugosidade é n = 0,022. Quanto se teria de aprofundar o canal, conservando a largura superficial e a inclinação dos taludes, para aumentar a capacidade de vazão para cerca de 17,5 m^3/s?

[X ≈ 0,20 m]

8.8 – Um canal circular fechado em concreto, n = 0,015, transportando água em regime permanente e uniforme, tem declividade de fundo 1/600 m/m e diâmetro D = 1,50 m. Determine a vazão para a qual a tensão média de cisalhamento na parede é 7,18 N/m^2 e compare seu resultado com a máxima vazão possível para este canal, para aquela declividade.

[Q = 2,02 m^3/s; Q_p = 2,50 m^3/s; Q_{max} = 2,69 m^3/s]

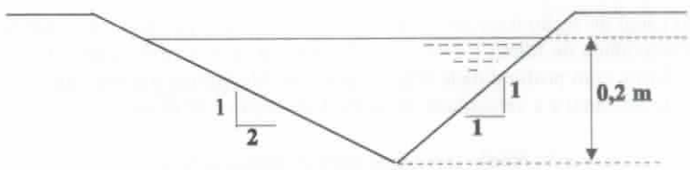
8.9 – Uma galeria de águas pluviais de 1,10 m de diâmetro, coeficiente de rugosidade de Manning n = 0,013 e declividade de fundo $I_o = 2 \cdot 10^{-3}$ m/m, transporta em regime permanente e uniforme uma vazão de 1,10 m^3/s.

a) determinar a altura d'água e a velocidade média.
b) a tensão média de cisalhamento no fundo e a velocidade de atrito.
c) qual seria a capacidade de vazão da galeria se ela funcionasse na condição de máxima velocidade?

a)[y_o = 0,74 m; V = 1,61 m/s]; b)[$\tau = 6,31$ N/m^2; $u_* = 7,94 \cdot 10^{-2}$ m/s]; c)[Q = 1,37 m^3/s]

8.10 – Determinar a capacidade vazão do canalete de drenagem de pé de talude, em uma rodovia, revestido de concreto em condições regulares, com declividade de fundo I_o = 0,005 m/m, em condições de regime permanente e uniforme, conforme a figura. O escoamento é fluvial ou torrencial? Justifique.

[Q ≈ 0,050 m^3/s; Fluvial]

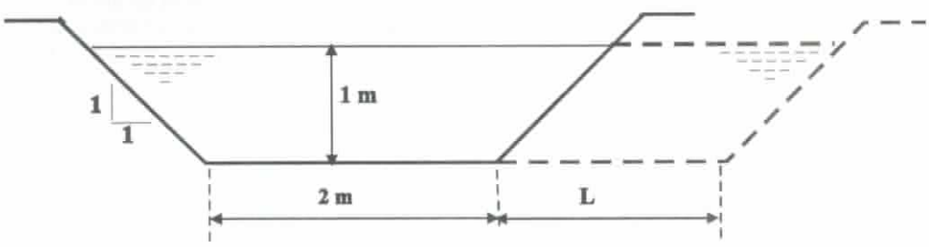


8.11 - Qual a perda de carga que ocorre em 500 m de um canal retangular que transporta, em regime permanente e uniforme, uma vazão de 2,5 m^3/s com área molhada de 2,5 m^2 e raio hidráulico igual a 0,428 m. Coeficiente de rugosidade de Manning, n = 0,020.

[ΔH = 0,62 m]

8.12 - Determinar a capacidade de vazão de um canal trapezoidal, conforme a figura abaixo. Os taludes e fundo são revestidos com alvenaria de pedra sêca em boas condições e a declividade de fundo é igual a I_o = 0,0005 m/m. Determine o comprimento adicional L, na largura de fundo, que é necessário para que a capacidade de vazão seja 43% superior a calculada, sem alterar a profundidade do escoamento no canal. A inclinação dos taludes, a declividade de fundo e o material de revestimento das paredes e fundo permanecem iguais a situação original.

[Q = 1,48 m^3/s; L = 1,0 m]



8.13 – Uma galeria de águas pluviais em concreto, n = 0,013, com diâmetro igual a 1,0 m está assentada com declividade de fundo I_o = 0,001 m/m. Para uma vazão igual a 400 L/s determine a lâmina de água e a velocidade média. Para a mesma vazão qual deve ser a declividade de fundo para que a tensão trativa, tensão média de cisalhamento no fundo, seja igual a 9,8 N/m^2. Admita escoamento permanente e uniforme.

[y_o = 0,515 m; V = 0,98 m/s; I = 0,0055 m/m]

8.14 – Dimensionar uma galeria de águas pluviais para transportar, em regime permanente e uniforme uma vazão 2,10 m^3/s, na condição de máxima velocidade e com declividade de fundo I_o = 0,008 m/m. Determine a tensão média de cisalhamento no fundo. Coeficiente de rugosidade n = 0,013.

[D ≈ 1,0 m; τ = 23,86 N/m^2]

8.15 – Um canal de seção triangular simétrica transporta em regime permanente e uniforme uma vazão de 376 L/s de água, com declividade de fundo I_o = 0,001 m/m e coeficiente de rugosidade n = 0,020. Sendo a altura média da seção molhada igual a 0,275 m, determine a inclinação dos taludes.

[Z = 2]

8.16 – Determinar a mínima declividade necessária para que um canal trapezoidal, taludes 4H:1V, transporte 6 m^3/s, com uma velocidade média igual a 0,60 m/s. Coeficiente de rugosidade dos taludes e fundo, n = 0,025.

[$I_{omin} = 3{,}2 \cdot 10^{-4}$ m/m]

8.17 - Dimensionar um canal trapezoidal com ângulo de talude igual a 45°, para transportar uma vazão de 10 m^3/s com declividade de fundo I_o= 0,0008 m/m, de tal forma que o raio hidráulico da seção seja 68,6% da altura d'água. Material de revestimento das paredes e fundo, alvenaria de pedra argamassada em condições regulares.

[y_o = 1,48 m; b = 4,44 m; V = 1,14 m/s]

8.18 - No projeto de uma galeria de drenagem sob um aterro rodoviário, por razões estruturais, optou-se por uma forma geométrica tipo capacete, em concreto n = 0,015. Para uma vazão de projeto igual a 12 m^3/s e uma declividade de fundo I_o= 0,001 m/m dimensione a seção da galeria para trabalhar com uma lâmina d'água relativa h/H = 0,70. Calcule a velocidade média do escoamento. Assuma escoamento uniforme.

[D ≈ 3,0 m; H = 3,40 m; V= 1,94 m/s]

8.19 - Determine a vazão e a altura de água em um canal trapezoidal com largura de fundo b = 2,0 m, coeficiente de rugosidade n = 0,030, taludes 1V:3H, declividade longitudinal I_o = 0,05% e velocidade média 0,8 m/s.

[Q = 13,2 m^3/s; y_o = 2,04 m]

8.20 - Um canal trapezoidal foi projetado para trabalhar na condição de mínimo perímetro molhado, sujeito as seguintes condições: vazão 8,5 m^3/s, velocidade média 0,8 m/s, inclinação dos taludes 1H:2V e coeficiente de rugosidade de Manning 0,025. Determine a largura de fundo, a altura de água e a declividade longitudinal.

[b = 3,06 m; y_o = 2,47 m; $I_o = 3 \cdot 10^{-4}$ m/m]

8.21 – Mostre que em um canal retangular largo, escoando em regime permanente e uniforme com altura de água normal y_o, o número de Reynolds de rugosidade é dado por: $Re\,y^* = Fr\sqrt{\frac{g\,y_o\,f}{8}}\frac{\varepsilon}{\nu}$, em que f é o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach, Fr o número de Froude do escoamento, ε a rugosidade absoluta do revestimento e ν a viscosidade cinemática da água.

8.22 – Mostre que em um canal retangular largo, escoando em regime permanente e uniforme com altura de água normal y_o, o número de Reynolds de rugosidade é dado por: $Re\,y^* = \frac{\varepsilon}{y_o}\sqrt{\frac{f}{8}}\,Re\,y$, em que f é o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach, Rey o número de Reynolds do escoamento e ε a rugosidade absoluta do revestimento.

8.23 - Um conduto circular de 0,60 m de diâmetro escoa certa vazão, em regime permanente e uniforme, com altura d'água igual a 0,30 m e declividade de fundo I_o = 0,001 m/m. Determine a velocidade de atrito. Dado: massa específica da água $\rho = 10^3$ kg/m^3

[u_* = 0,0383 m/s]

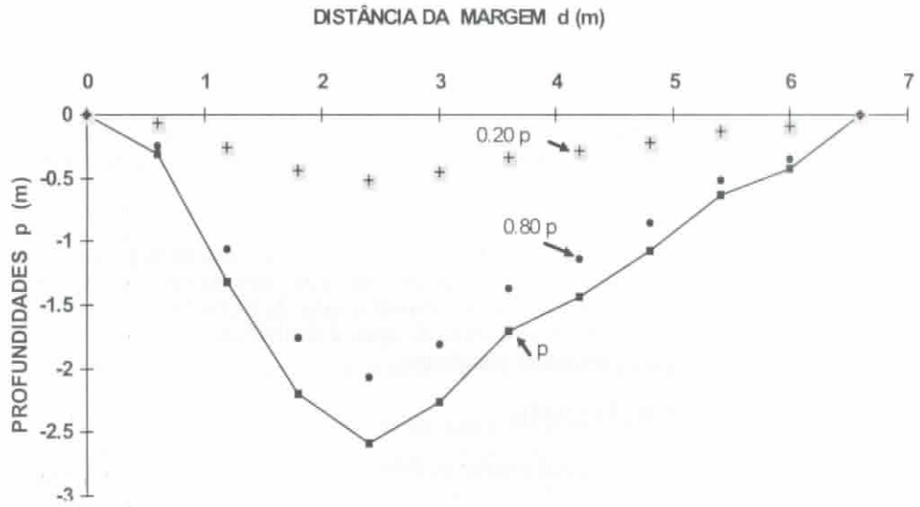
8.24 - Mostre que em um canal trapezoidal, simétrico, na condição de mínimo perímetro molhado, o comprimento molhado dos taludes é igual à largura na superfície livre.

8.25 - Pretende-se construir uma galeria em tubos de concreto para veicular uma vazão de 0,5 m^3/s com uma declividade igual a 0,002 m/m. Admitindo um coeficiente de Manning igual a 0,013 e lâmina d'água y_o/D aproximadamente igual a 60%, determine o diâmetro comercial para essa galeria. Sabendo-se que haverá um crescimento na vazão de cerca de 20% e que, devido ao "envelhecimento do concreto", o coeficiente de Manning passará a 0,016, calcule a lâmina máxima esperada. Para essa condição, determine a velocidade média.
Obs.: diâmetros comerciais variam entre 400 e 1500 mm, com ΔD = 100 mm.

[D = 900 mm; y_{max} = 0,675 m; V = 1,17 m/s]

8.26 - Em um rio com 6,6 m de largura, foram feitos uma batimetria e levantamento de velocidades com o uso de um molinete, em 10 verticais, conforme a tabela. As velocidades foram medidas nas posições de 0,20 e 0,80 da profundidade vertical. Utilizando um método de integração gráfica (trapézios e triângulos), calcule a velocidade média da seção do rio e a vazão, tomando como área de influência de cada vertical de medida, uma faixa de largura 0,60 m simétrica em relação à vertical de medida das velocidades. Estime o número de Froude do escoamento.

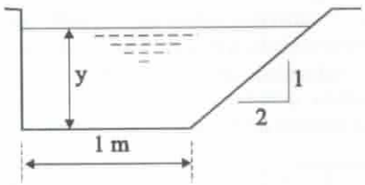
d	p	0,20p	0,80p	V(0,20p)	V(0,80p)
(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)
0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,60	0,31	0,062	0,248	0,43	0,21
1,20	1,32	0,264	1,056	0,56	0,37
1,80	2,20	0,440	1,760	0,79	0,55
2,40	2,59	0,518	2,072	0,88	0,60
3,00	2,26	0,452	1,808	0,82	0,58
3,60	1,72	0,342	1,368	0,70	0,58
4,20	1,43	0,286	1,144	0,70	0,46
4,80	1,07	0,214	0,856	0,64	0,40
5,40	0,64	0,128	0,512	0,55	0,33
6,00	0,43	0,086	0,344	0,46	0,30
6,60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



[V = 0,61 m/s; Q = 5,14 m^3/s; Fr = 0,173]

8.27 - Para a seção mostrada na figura determine a altura de água y, para uma vazão de 2,5 m^3/s, declividade de fundo I_o = 0,001 m/m e coeficiente de rugosidade de Manning n = 0,018, no regime permanente e uniforme.

[y = 1,08 m]



8.28 – Mostre que a relação entre uma vazão qualquer Q e a vazão correspondente à seção plena Q_q, em um canal circular, vale $\frac{Q}{Q_p} = \frac{1}{2\pi\theta^{2/3}}[\theta - \text{sen}\theta]^{5/3}$, em que θ é o ângulo central.

8.29 – Determinar a vazão transportada em regime permanente e uniforme, por uma galeria de águas pluviais de 1,0 m de diâmetro, trabalhando como conduto livre, com uma altura de água tal que $V/V_p = R_H/R_{Hp}$. Declividade de fundo $I_o = 0{,}002$ m/m e coeficiente de rugosidade n = 0,013.

[$Q = 0{,}536\ m^3/s$]

8.30 - Uma tubulação circular de diâmetro D escoa certa vazão em regime permanente e uniforme com altura d'água igual à $y_o = 0{,}70$ D. Mostre que entre o fator de atrito f da equação de Darcy-Weisbach e o coeficiente de rugosidade C da fórmula de Chézy, existe a seguinte relação: $f = 78{,}4/C^2$.

8.31 – Mostre que em um canal trapezoidal, simétrico, na condição de mínimo perímetro molhado existe a relação adimensional, em que P é o perímetro molhado da seção.

$$\frac{P}{y_0} = 2\left(m + Z\right)$$

8.32 – Considere um canal retangular largo, de declividade da linha de energia constante I_f e coeficiente de rugosidade de Manning n. Mostre que a relação entre a tensão média de cisalhamento nas paredes e fundo e a vazão unitária q é dada por: $\tau = \gamma q^{3/5} n^{3/5} I_f^{7/10}$.

8.33 – O projeto de um canal trapezoidal com largura de fundo b = 2 m e declividade dos taludes Z = 3, para transportar uma vazão de 10 m^3/s, impõe que para não haver processo erosivo nas paredes e fundo, a tensão média de cisalhamento não deve ultrapassar o valor de 10 Pa. Sendo o coeficiente de rugosidade de Manning n = 0,025 determine a altura de água, a declividade de fundo e o número de Froude do escoamento, no regime permanente e uniforme.

[$y_o = 1{,}35$ m ; $I_o = 1{,}3 \times 10^{-3}$ m/m ; Fr = 0,43]

8.34 – Qual a lâmina de água em um canal circular de diâmetro D, de modo que a altura hidráulica da seção molhada seja 11% maior que o raio hidráulico.

[$y \approx 0{,}146D$]

8.35 – Qual deve ser a declividade de assentamento de um coletor de esgoto sanitário, circular, de modo que a velocidade média, no regime permanente e uniforme, seja 1,10 m/s e o número de Reynolds de rugosidade do escoamento seja 86,65. Coeficiente de rugosidade de Manning n = 0,013.

[$I_o = 0{,}0033$ m/m]

CAPÍTULO 9 – PROJETO E CONSTRUÇÃO DE CANAIS

9.1 – Um canal trapezoidal com taludes 2H:1V, transporta uma vazão de 6,75 m^3/s com uma altura de água igual a 1,25 m, declividade de fundo I_o = 0,05%, em regime permanente e uniforme. O fundo é revestido com alvenaria de pedra seca em condições regulares e os taludes revestidos com alvenaria de tijolo com argamassa de cimento em boas condições. Determine a largura de fundo e verifique se o canal trabalha na condição de mínimo perímetro molhado. Utilize o programa CANAS3.EXE.

[b = 3,82 m; Não]

9.2 – Dimensionar um canal trapezoidal com taludes 2H:1V, razão de aspecto m = 4, declividade de fundo I_o = 0.0015 m/m para transportar uma vazão de 8,8 m^3/s. Material de revestimento dos taludes alvenaria de pedra argamassada em condições regulares, fundo de concreto em condições regulares. Taludes 1H:1V. Utilize o programa CANAS3.EXE.

[b = 4,02 m; y_o = 1,0 m; V = 1,45 m/s]

9.3 – Determinar a capacidade vazão de um canal trapezoidal com altura de água igual a 1,90 m, largura de fundo 3,80 m e declividade de fundo I_o = 0,001 m/m. O fundo é de concreto magro e os taludes de alvenaria de pedra argamassada em condições regulares. Utilize o programa CANAS3.EXE.

[Q = 18,10 m^3/s]

9.4 – Um canal trapezoidal de 2,0 m largura de fundo tem altura de água de 1,0 m, taludes 3H:1V, declividade de fundo I_o = 0,001 m/m e é revestido no fundo e taludes com alvenaria de pedra argamassada em condições regulares. Necessita-se aumentar a capacidade de vazão deste canal, ao máximo possível, sem mudar o revestimento, a declividade de fundo, podendo ser alteradas as dimensões da seção transversal e a inclinação dos taludes, sem, entretanto, alterar a forma trapezoidal e a quantidade de escavação. Determine:
a) A vazão transportada pela seção original
b) Apresente uma solução para as novas dimensões do canal, para transportar a máxima vazão possível, atendendo as condições impostas.
c) A nova vazão e a porcentagem de acréscimo.

a) [Q = 4,50 m^3/s]; b) [b = 2,0 m; y_o = 1,70 m; Z = 0,55]; c) [Q = 5,67 m^3/s; ΔQ = 26%]

9.5 – Uma galeria com geometria mostrada na figura, foi projetada para permitir a passagem de um córrego sob uma rodovia. As condições de aproximação são tais que a altura da água na estrutura pode ser considerada uniforme ao longo da galeria. A fim de evitar que a galeria trabalhe em carga, ela foi dimensionada para passar a vazão de projeto com uma altura relativa (y/Hmax) de 75%.

Utilizando a equação 9.1 da página 276 do livro "Hidráulica Básica" para a determinação das rugosidades equivalentes na seção, determine:

a) O gráfico da relação altura d'água relativa x vazão (y/Hmax contra vazão) com Hmax = A + R.
b) A vazão de dimensionamento da galeria.

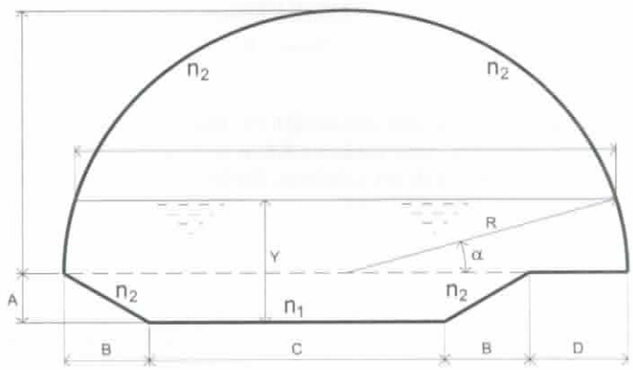
Sugestões: divida o problema em três, usando o Excel.

i) determine as rugosidades equivalentes da seção trapezoidal para as alturas y = 0 : y = A/2 e y = A.

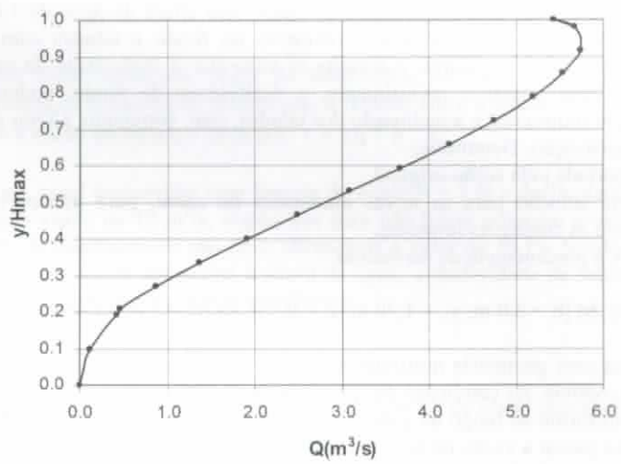
ii) determine as rugosidades equivalentes da parte em abóbada partindo de y = A + 0,02 (m) e discretizando a altura de 0,10 m em 0,10 m, até y = A + R.

iii) de posse das rugosidades equivalentes, para as alturas d'água usadas nas planilhas anteriores, determine os perímetros e áreas molhadas e aplique a equação de Manning.

DADOS	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	I_o (m/m)	n_1	n_2
	0.30	0.45	1.00	0.60	0.005	0.030	0.020



a) [ ]; b) [Para $y/H_{max} = 0,75$ $Q_{proj} = 5,0$ m^3/s]



9.6 – No início do século XX as principais cidades brasileiras foram palco de um conjunto de obras em Saneamento (abastecimento, coleta de esgotos e drenagem), com o objetivo de combate às enfermidades de origem hídrica, comuns na época.

O principal projetista destas obras de infra-estrutura foi o Engº Francisco Saturnino de Brito Filho, responsável por planos sanitários e urbanísticos, em cidades como Santos, Rio de Janeiro, Recife, João Pessoa, Aracaju, etc. Por seu brilhante trabalho desenvolvido, o Engº Saturnino de Brito é hoje considerado o Patrono da Engenharia Sanitária no Brasil.

Na obra "Saneamento do Recife", publicada em 1917 tiramos a proposta da seguinte aplicação.

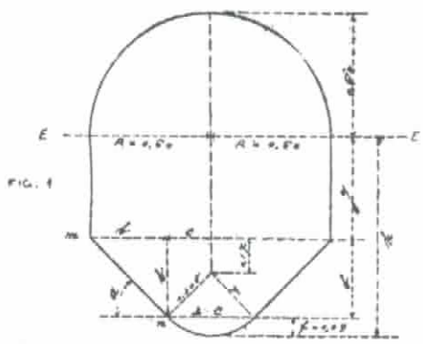
O eminente engenheiro patenteou uma geometria de coletor de esgoto sanitário, denominado "Colletor Recife" cujo esquema geométrico e curvas de lâmina d'água contra velocidade e vazão estão apresentados em anexo.

Levantando, em função da altura d'água os parâmetros geométricos, área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico, de h = 0 até h = 1,10 m, pesquisar que equação de resistência Saturnino de Brito usou para desenhar as curvas h = f (Q,V), em anexo. Esta pesquisa pode ser feita no volume 2 do "Manual de Hidráulica" do Prof. Azevedo Netto.

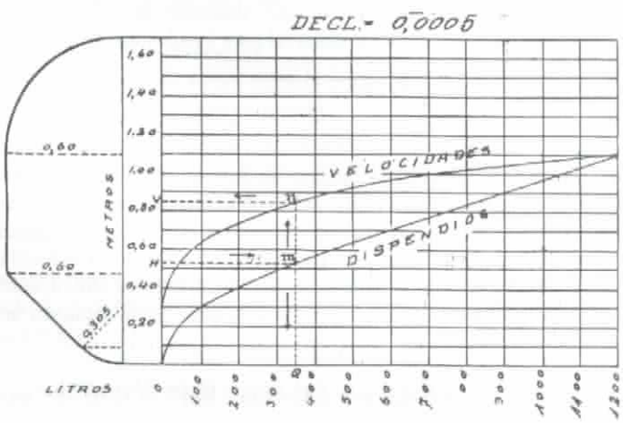
As dimensões geométricas do desenho são: b = 0,385 m, y = 0,65 m, r = 0,305 m (raio do arco de círculo inferior), R = 0,60 m e 2c = 0,431 m.

Após a descoberta da equação de resistência usada pelo engenheiro e respectivo coeficiente que leva em conta a natureza da parede (rugosidade), trace curvas semelhantes usando a equação de Manning, adotando n = 0,013 (valor normalmente usado neste tipo de projeto), para I_o = 0,0005 m/m, e compare com as curvas do projeto de Recife. Faça os comentários pertinentes. Avalie qual seria o coeficiente de rugosidade de Manning que mais aproxima esta curva, com a usada por Saturnino de Brito.

Monte uma planilha no Excel para o levantamento dos parâmetros geométricos da seção, de h = 0 até 1,10 m, e com os valores de área e raio hidráulico reproduza as curvas anexas. A discretização da tabela pode ser: h = 0,09 m (valor da flecha f), 0,10 m e daí em diante de 0,05 em 0,05 m, até 1,10 m. Observe com cuidado os pontos de mudança da geometria.



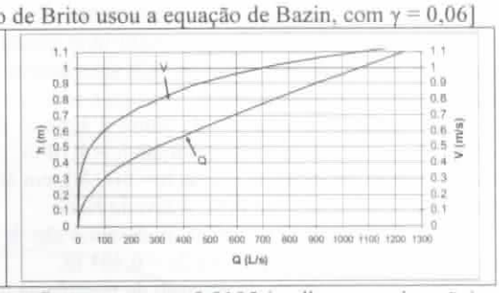
Colletor Recife



Curvas h = f (Q) e h = f (V) – Saturnino de Brito – Saneamento do Recife.

[Devido à influência francesa na época, Saturnino de Brito usou a equação de Bazin, com $\gamma = 0,06$]

Curvas para n = 0,013



Curvas para n = 0,0105 (melhor aproximação)

9.7 - Um pequeno canal de navegação, trapezoidal, com inclinação dos taludes 1V:2H, coeficiente de rugosidade de Manning n = 0,025, declividade de fundo $I_o = 0,15\%$ e raio hidráulico da seção 1,33 m foi dimensionado para uma vazão de 50 m^3/s. Determine a largura de fundo, a altura de água e a velocidade média.

[b = 12,50 m: y_o = 1,67 m; V = 1,88 m/s]

9.8 - Determine a altura de água e a declividade de fundo de um canal trapezoidal com taludes 3H:1V, coeficiente de rugosidade n = 0,030, vazão 2,0 m^3/s, largura de fundo igual a 2,0 m e velocidade média de 0,80 m/s.

[y_o = 0,64 m; I_o = 0,00185 m/m]

9.9 - Um canal trapezoidal, em concreto n = 0,018, declividade de fundo I_o= 1/1000 m/m, inclinação dos taludes 1H:1V, foi projetado para trabalhar na condição de mínimo perímetro molhado e com tensão média de cisalhamento nas paredes e fundo igual a 4,9 N/m^2. Determine as dimensões da seção molhada e a vazão.

[y_o = 1,0 m: b = 0,83 m: Q = 2,03 m^3/s]

9.10 – Um canal de leito aluvionar cuja seção transversal se pode considerar aproximadamente retangular, muito larga, tem declividade de fundo I_o = 0,002 m/m. Determine a máxima altura de água para a qual o leito não é erodido em condições de regime uniforme. As características granulométricas do material de fundo: densidade específica S_s = 2,65, diâmetro de referência d_{50} = 5 mm. Nestas condições a máxima tensão de cisalhamento admissível para evitar transporte de sedimento é da ordem de 4,5 N/m^2.

[$y_{máx}$ = 0,23 m]

9.11 – Um canal de seção trapezoidal com largura de fundo igual a 2,0 m, inclinação dos taludes 1V:3H tem declividade longitudinal I_o = 0,0012 m/m. O fundo do canal e taludes consistem de uma mistura de areia fina consolidada com rugosidade absoluta ε = 0,5 mm. Na condição de escoamento permanente e uniforme a altura de água é 0,48 m. Determine a vazão, a velocidade média, fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach, a tensão média de cisalhamento, a velocidade de atrito, o número de Reynolds de rugosidade e o tipo de escoamento. Nesta situação seria possível usar a equação de Manning?

[Q = 2,27 m^3/s; V = 1,37 m/s; f = 0,0162; τ = 3,85 N/m^2; Rey* = 31,02; Escoamento turbulento de transição; Não]

9.12 – A altura normal do escoamento uniforme em um canal trapezoidal revestido de concreto n = 0,015 é 2 m. A largura de base é 5 m, a inclinação dos taludes 1V:2H e a declividade longitudinal I_o = 0,0001 m/m. Determine a vazão, a velocidade média, a velocidade de atrito e mostre que nesta situação a aplicação da equação de Manning é correta. Sugestão: reveja o item 8.3 do livro "Hidráulica Básica".

[Q = 14,23 m^3/s; V = 0,79 m/s; u_* = 0,0356 m/s; Rey^* = 115,13 escoamento turbulento rugoso]

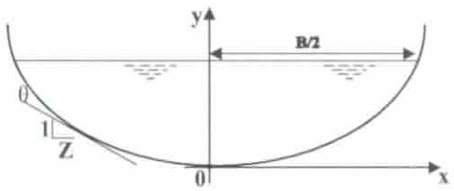
9.13 - Em geral, as seções transversais de rios e canais não revestidos assumem formas estáveis que se aproximam de parábolas. O ângulo θ que a tangente à parábola faz com a linha da superfície livre é um fator condicionante da forma da seção reta, por depender do ângulo de atrito interno do material submerso[1]. Para uma seção desse tipo, como na abaixo, mostre que os elementos geométricos podem ser definidos pelas seguintes equações adimensionais: (sugestão relembre o conceito de equações paramétricas e integral de linha para dedução da equação do perímetro molhado).

Área molhada: $\frac{A}{y^2} = \frac{8}{3}Z$

Largura de topo: $\frac{B}{y} = 4.Z$

Perímetro molhado: $\frac{P}{y} = 2.\Phi \therefore \Phi = \left\{\sqrt{1+Z^2} + Z^2.\ln\left[\frac{1}{Z}.\left(1+\sqrt{1+Z^2}\right)\right]\right\}$

Raio hidráulico: $\frac{R_h}{y} = \frac{4}{3}.\frac{Z}{\Phi}$



A fim de evitar erosão, deve-se escolher adequadamente o valor de "Z" em função do material que constitui o canal. Chow (1959, p.158) recomenda os valores indicados na tabela a seguir. Preencha a última coluna com o valor (ou intervalo de valores) da função Φ.

Material	Z	Φ
Solos irregulares e com matéria orgânica	0,25	1,16
Argila muito compacta	0,5 a 1	1,48 a 2,3
Terra com revestimento em pedra	1	2,3
Argila firme ou terra (pequenos canais)	1,5	3,21
Terra arenosa solta	2	4,16
Argila porosa	3	6,11

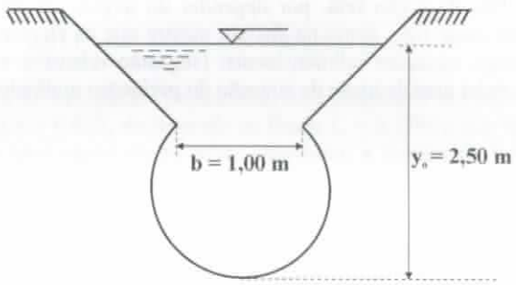
9.14 – Dimensione um pequeno canal em argila firme para transportar uma vazão de 1,0 m^3/s, declividade de fundo I_o = 0,001 m/m e coeficiente de rugosidade n = 0,025. Utilize uma seção parabólica na forma $y = Kx^2$.

[Z = 1,5; Φ = 3,21; y_o = 0,61 m; V = 0,67 m/s; K = 0,182; B = 3,66 m]

[1] SOUZA, PODALYRO A. DE. Dimensionamento hidráulico de canal parabólico. Revista Politécnica, nº 190. (1985)

9.15 - Tendo em vista o aumento de vazão devido à impermeabilização do solo em uma bacia hidrográfica, uma galeria de drenagem (tubo de concreto em más condições, I_o = 3m/km, D = 1,5 m) teve de ser ampliada. O processo construtivo consistiu na remoção do tampo superior da galeria e a execução de uma seção trapezoidal (superfície de cimento alisado em condições muito boas, declividade dos taludes 1H:1V), conforme a figura.
Determine a vazão transportada na nova concepção e o número de Froude do escoamento.

[Q = 12,44 m^3/s ; Fr = 0,84]



9.16 – Com que razão de aspecto deve ser projetado um canal trapezoidal, com inclinação dos taludes 1V:2H, coeficiente de rugosidade n = 0,018, para transportar, em regime permanente e uniforme, uma vazão de 4,56 m^3/s com velocidade média de 1,14 m/s. Declividade de fundo I_o = 0,0008 m/m.

[m = b/y_o = 2]

9.17 – Quais deverão ser as dimensões de uma seção trapezoidal de um canal com declividade de fundo $I_o = 10^{-3}$ m/m, coeficiente de rugosidade n = 0,020 e razão de aspecto da seção m = 2, para que em condições de escoamento permanente e uniforme, a tensão média de cisalhamento nos taludes e fundo seja 4,126 Pa e que o raio hidráulico da seção seja numericamente igual ao número de Froude do escoamento.

[b = 1,36 m; y_o = 0,68 m; B = 4,08 m; Z = 2]

9.18 Uma galeria de águas pluviais de diâmetro D transporta uma vazão Q = 510 L/s, em regime permanente e uniforme, trabalhando com uma lâmina de água y_o/D = 0,60 e a tensão media de cisalhamento vale 2,73 Pa. Determine o diâmetro e a declividade de assentamento da galeria. Coeficiente de rugosidade n = 0, 013.

[D = 1,0 m; $I_o = 10^{-3}$ m/m]

9.19 – No projeto de uma galeria de águas pluviais, com 1,0 m de diâmetro e coeficiente de rugosidade n = 0,013, foram estabelecidos os seguintes critérios:
a) a lâmina de água no regime permanente e uniforme deve ser y_o/D = 0,70.
b) a tensão de cisalhamento deve ser oito vezes maior que o número de Froude do escoamento.
Determine a vazão e a declividade de assentamento.

[Q = 0,746 m^3/s; I_o = 0,0014 m/m]

CAPÍTULO 10 – ENERGIA OU CARGA ESPECÍFICA

10.1 – Mostre que, em um canal de forma qualquer, a derivada da área molhada A em relação a altura de água y é dada por: $\frac{dA}{dy} = \frac{Fr^2 A}{2(E-y)}$, em que Fr é o número de Froude do escoamento e E a energia específica na seção.

10.2 - Em uma galeria de águas pluviais de 1,20 m de diâmetro, verificou-se que uma vazão constante Q pode escoar em regime fluvial com uma altura de água $y_1 = 0,78$ m e em regime torrencial com uma altura de água $y_2 = 0,30$ m. Determine a altura crítica deste canal para a vazão Q considerada.

[$y_c = 0,46$ m]

10.3 – Um canal trapezoidal com largura de fundo 0,5 m e taludes 1H:1V, coeficiente de rugosidade n = 0,018, foi projetado para trabalhar na condição de mínimo perímetro molhado. Qual deve ser a máxima declividade de fundo, de modo que o número de Froude do escoamento não ultrapasse 0,70 e a máxima tensão média de cisalhamento não ultrapasse 5,9 N/m^2? Nestas condições determine a vazão de projeto e a energia específica no regime uniforme.

[$Q = 0,746$ m^3/s; $E = 0,668$ m]

10.4 – O escoamento em um rio caudaloso, com altura d'água igual a 1,00 m e largura 30 m pode ser aproximado por um escoamento permanente e uniforme em canal retangular. A declividade de fundo é $I_o = 0,0054$ m/m e o coeficiente de rugosidade n = 0,035. Em um trecho retilíneo do rio está prevista a construção de uma ponte, perpendicular à corrente, com três pilares circulares.
a) qual o máximo diâmetro dos pilares para se evitar a modificação das condições de escoamento a montante da ponte?
b) se os três pilares forem construídos cada um com 1,50 m de diâmetro, determine a altura d'água imediatamente a montante da ponte.
Obs: não use tabelas.

[a)[$D_{máx} \simeq 1,10$ m]; b)[$y = 1,06$ m]

10.5 – Um canal circular de diâmetro D escoa uma vazão com altura d'água correspondente a 0,40D e o regime é crítico. Mostre que $y_c/E_{min} = 0,728$.

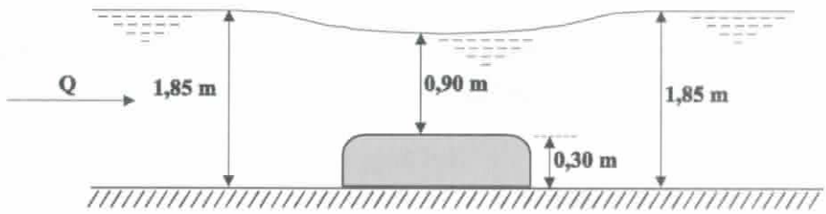
10.6 – Um canal retangular largo escoa uma determinada vazão em regime permanente, uniforme e crítico. Mostre que a declividade de fundo vale $I_o = f / 8$, em que f é o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach.

10.7 - Qual deve ser a declividade de fundo em um canal trapezoidal, com taludes 0,5H:1V, revestido de concreto em condições regulares, para que trabalhando na condição de mínimo perímetro molhado, o escoamento permanente e uniforme seja crítico. Largura de fundo igual a 1,0 m.

[$I_o = I_c = 5,26 \cdot 10^{-3}$ m/m]

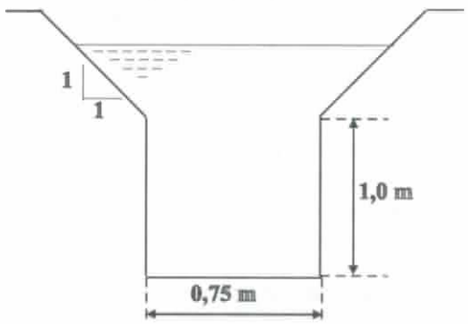
10.8 - Em um canal retangular de fraca declividade, largura 3 m, escoa uma vazão de 7,2 m^3/s, com altura d'água 1,85 m. Em uma determinada seção a largura é reduzida suavemente para 2,10 m e colocado um degrau de 0,30 m de altura. O perfil da superfície da água indicado na figura abaixo é possível? Justifique. Caso não seja, determine o perfil esperado da superfície. Despreze as perdas.

[Não é possível, a altura de água sobre o degrau deverá ser y = 1,26 m]



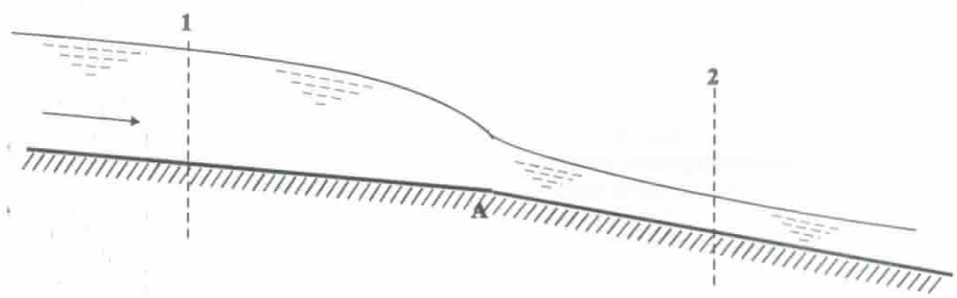
10.9 - Em um canal em regime permanente e uniforme, com seção transversal indicada na figura, é transportada uma vazão de 1,53 m^3/s. Determine a profundidade e a velocidade média para Froude = 0,6.

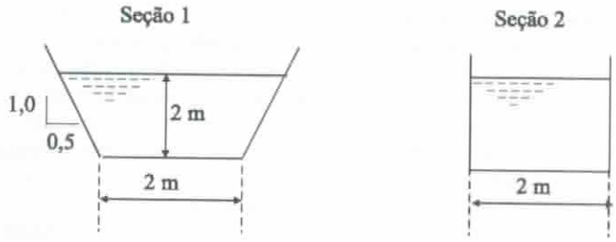
[y ≈ 1,15 m; V = 1,73 m/s]



10.10 – No canal mostrado na figura na seção 1 o escoamento ainda é uniforme com geometria trapezoidal, coeficiente de rugosidade n_1 = 0,018 e declividade de fundo I_{01} = 0,002 m/m. No ponto A existe uma mudança de geometria para retangular, declividade de fundo I_{02} = 0,008 m/m e coeficiente de rugosidade n_2 = 0,015 e, a partir da seção 2, o escoamento já é uniforme. Determine os tipos de regime, fluvial ou torrencial, no regime uniforme, nos dois trechos do canal.

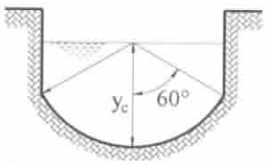
[Trecho 1 fluvial, trecho 2 torrencial]





10.11 - Para a seção mostrada na figura determine a relação y_c/E_{min}.

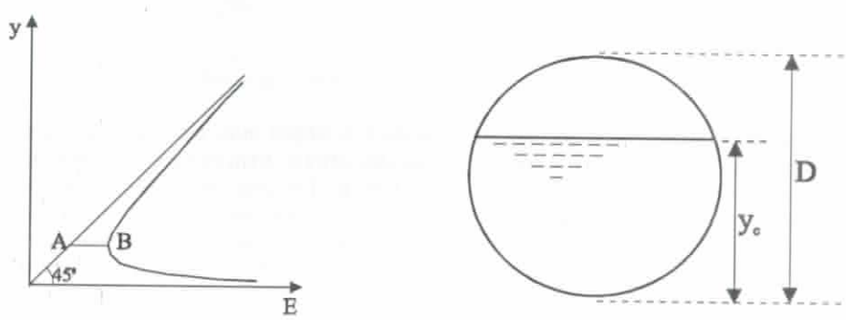
[$y_c/E_{min} \approx 0,70$]



10.12 - Mostre que, em um canal retangular largo, em regime permanente e uniforme o número de Froude do escoamento é dado por: $Fr = \sqrt{\frac{I_o}{g}}\,\frac{y_o^{1/6}}{n}$, em que I_o é a declividade de fundo, n o coeficiente de rugosidade de Manning e y_o a altura de água.

10.13 - O canal circular de diâmetro igual a 1,0 m, cuja seção reta é mostrada na figura, transporta uma certa vazão em condições de regime crítico. Calcule a altura d'água y_c e a vazão, sabendo que, na curva y x E para este canal e aquela vazão a distância AB, em uma determinada escala, vale 0,25 m.

[$y_c \approx 0,60$ m; $Q = 1,09$ m^3/s]



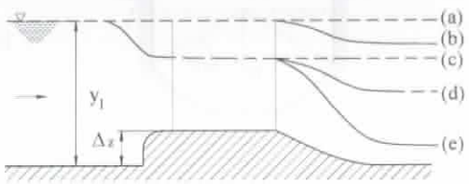
10.14 - Um canal trapezoidal, com revestimento de concreto n = 0,015, tem os taludes inclinados a 45° com o plano horizontal e sua largura de fundo é igual a quatro vezes a altura da lâmina d'água. Através dele escoa em regime uniforme uma vazão de 35 m^3/s em condições críticas. Determinar a declividade de fundo e as dimensões da seção transversal do canal.

[$I_o = I_c = 2,48 \cdot 10^{-3}$ m/m; b = 5,72 m; $y = y_c = 1,43$ m]

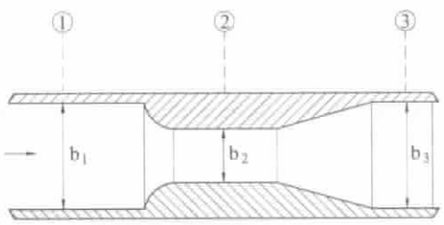
10.15 - Uma calha medidora de vazão é colocada em um trecho curto de um canal, para induzir condições de regime crítico na garganta e possibilitar a medida da vazão. Considere a calha medidora mostrada na figura na qual as seções de entrada, da garganta e saída são retangulares. O fundo do canal é liso e as seções 1, 2 e 3 estão na horizontal. As larguras do canal são $b_1 = b_3 = 15$ m e $b_2 = 8{,}5$ m. A altura do vertedor é $\Delta Z = 1{,}1$ m. A vazão total é 90 m^3/s. Assumindo que condições críticas e distribuição de pressão hidrostática ocorrem na seção 2 (crista do vertedor), investigue as condições de escoamento no canal, assumindo regime torrencial a jusante.

a) Para a seção 2, determine: altura d'água e energia específica.
b) Para a seção 1, determine a energia específica, altura d'água e velocidade média.
c) Para a seção 3, determine a energia específica, altura d'água e velocidade média.
d) Na figura abaixo cinco perfis da superfície da água são desenhados. Qual é o correto?

a)[$y_2 = 2{,}25$ m; $E_2 = 3{,}38$ m]; b)[$E_1 = 4{,}48$ m; $y_1 \approx 4{,}38$ m; $V_1 = 1{,}37$ m/s]; c)[$E_3 = 4{,}48$ m; $y_3 \approx 0{,}697$ m; $V_3 = 8{,}61$ m/s]; d)[Perfil e]



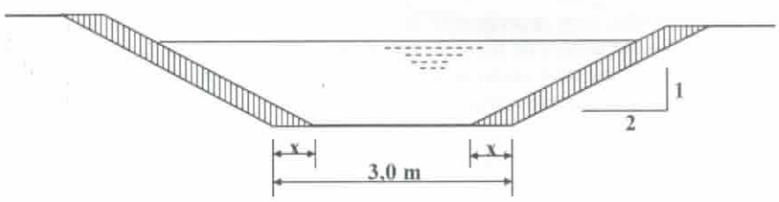
CORTE



PLANTA

10.16 - Um canal trapezoidal de declividade de fundo $I_o = 0{,}0004$ m/m, coeficiente de rugosidade n = 0,025, largura de fundo 3,0 m e inclinação dos taludes 2H:1V, transporta, em regime permanente e uniforme, uma certa vazão com altura d'água $y_o = 0{,}80$ m. Em uma certa seção existe um obstáculo curto (garganta, mantendo a inclinação 2H:1V) de cantos arredondados, como na figura. Determine a vazão, o tipo de escoamento no regime uniforme e o máximo valor de x para não provocar alteração na linha de energia a montante (remanso). Despreze a perda de carga na transição.

[$Q \approx 2{,}0$ m^3/s; Fluvial; x = 1,28 m]



10.17 - Um escoamento permanente uniforme, com altura d'água igual a 1,50 m, ocorre em um canal retangular de 3,0 m de largura com vazão de 8,20 m^3/s. Determine:

a) o tipo de escoamento uniforme, fluvial ou torrencial.
b) a mínima altura de um degrau que pode ser colocado no fundo do canal, para produzir escoamento crítico.
c) o que acontece, a montante e a jusante do degrau, se a altura do degrau for maior que o valor calculado no item anterior? E se for menor?
d) sem a colocação do degrau qual seria a máxima largura de contração na seção para produzir escoamento crítico.

a)[Fluvial]; b)[$\Delta Z_{min} \approx 0,30$ m]; c)[Se for maior, remanso de elevação e se for menor o regime continuará fluvial antes e depois do degrau]; d)[$b_{max} = 2,23$ m]

10.18 – Em um canal trapezoidal foi construída uma calha venturi, pela constrição na largura de fundo do canal, mantendo a mesma inclinação dos taludes. O canal transporta em regime uniforme uma vazão de 3,65 m^3/s, com largura de fundo igual a 1,0 m, declividade e fundo $I_o = 0,001$ m/m, inclinação dos taludes 1H:1V e coeficiente de rugosidade n = 0,013. Mostre que se a largura de fundo da calha for 0,50 m a altura de água a montante da contração se elevará 0,13 m, aproximadamente (explique porque o nível da água sobe). Determine o tipo de escoamento no regime uniforme e a altura de água na seção contraída. Justifique. Despreze as perdas de carga na contração.

[Escoamento fluvial; $y_2 = y_{c2} = 1,0$ m]

10.19 – Um canal trapezoidal deve transportar, em regime permanente e uniforme, uma vazão de 3,25 m^3/s, com declividade de fundo $I_o = 0,0005$ m/m, trabalhando na seção de mínimo perímetro molhado. A inclinação dos taludes é 0,5H:1V e o revestimento será em alvenaria de pedra argamassada em condições regulares. Determine a altura de água, a largura de fundo, a tensão média de cisalhamento no fundo e taludes e o tipo de escoamento, fluvial ou torrencial, usando dois critérios distintos.

[$y_o = 1,57$ m; b = 1,93 m; $\tau = 3,85$ N/m^2; fluvial; Fr = 0,22]

10.20 – Mostre que a declividade crítica de um canal, para uma dada altura de água normal $y_o \equiv y_c$, pode ser expressa por: $I_c = \frac{g\, n^2 H_m}{R_h^{4/3}}$, em que H_m é a altura média da seção molhada para a altura de água $y_o \equiv y_c$, R_h o raio hidráulico e n o coeficiente de rugosidade de Manning.

10.21 – Um canal trapezoidal com largura de fundo igual a 2,0 m, taludes a 45° tem altura média da seção molhada igual a 0,40 m e o escoamento é crítico. Determine a vazão.

[Q = 2,34 m^3/s]

10.22 - Um vertedor retangular de parede fina, com duas contrações laterais e largura da soleira igual a 1,80 m, descarrega água em um canal retangular de 2,0 m de largura, declividade $I_o = 0,001$ m/m, rugosidade n = 0,020, que termina, a 250 m a jusante do vertedor, em uma queda brusca. A altura d'água imediatamente a montante da queda vale 0,20 m. Determine a carga sobre a soleira do vertedor. O canal é de forte ou de fraca declividade? Justifique.

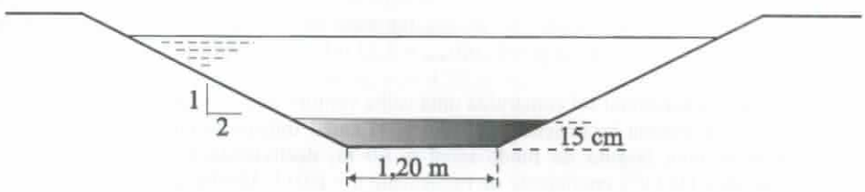
[H = 0,31 m; fraca declividade]

10.23 – Pelo canal trapezoidal mostrado na figura escoa, em regime uniforme, uma vazão de 4,70 m^3/s, com uma declividade de fundo $I_o = 1$ m/km e coeficiente de rugosidade n = 0,018. Em uma

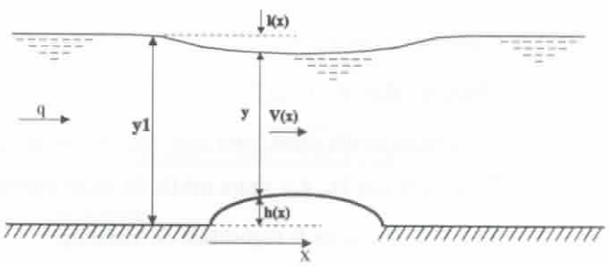
determinada seção do canal existe um degrau de cantos arredondados com 15 cm de altura. Desprezando a perda de carga na transição, determine:

a) a energia específica mínima sobre o degrau para transportar aquela vazão.
b) a presença do degrau altera as condições do escoamento a sua montante?
c) sobre o degrau a superfície da água sobe ou desce?
d) qual o abaixamento ou elevação do nível de água?

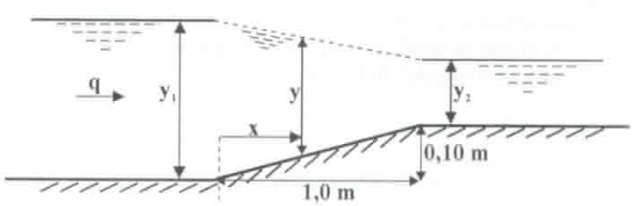
a) [E_{min} = 0,922 m]; b) [não]; c) [desce]; [Δz = 1,6 cm]



10.24 – O escoamento de água, em regime permanente, em um canal retangular com vazão unitária q ultrapassa uma protuberância no fundo, com na figura abaixo. A superfície da protuberância pode ser determinada por h = h(x). Desprezando a perda de energia na transição mostre que a variação da linha de água, ao longo da transição é dada por $\frac{dy}{dx} = -\frac{dh/dx}{[1 - Fr^2(x)]}$, em que V = V(x), y = y(x) e Fr = Fr(x) são valores locais.

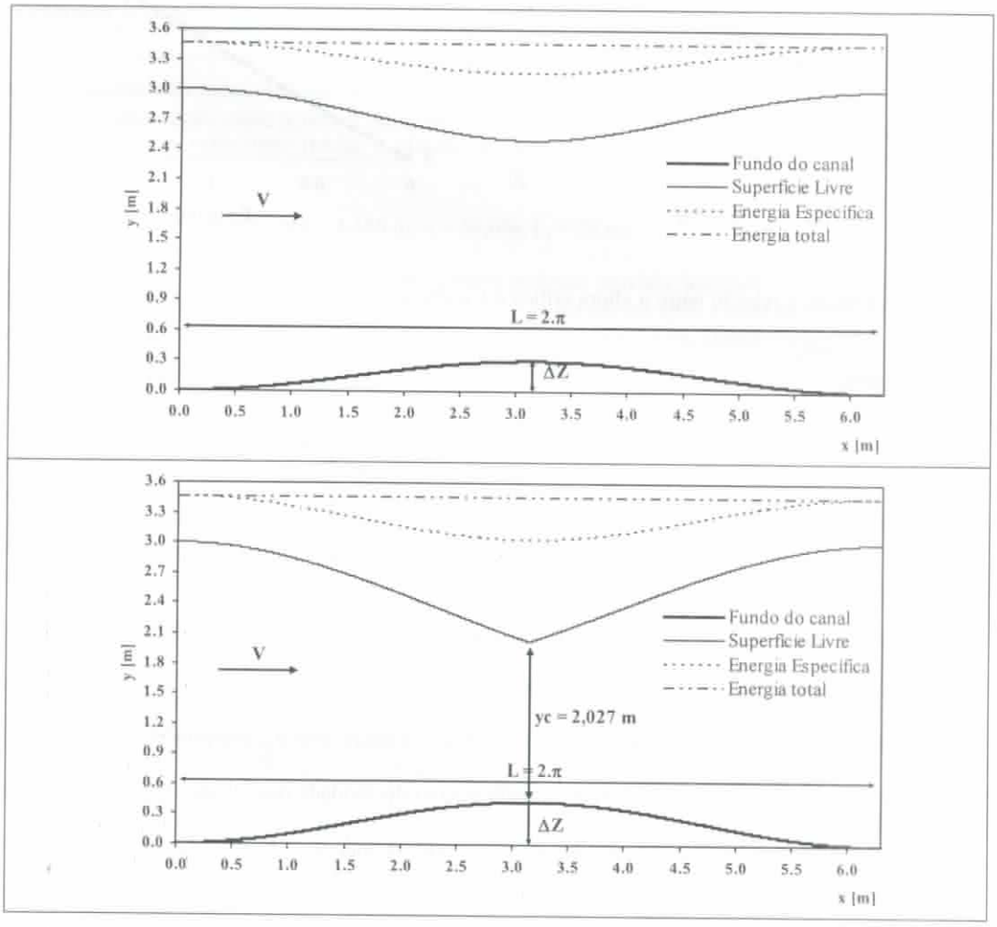


10.25 – Integre a equação diferencial do exercício anterior, no caso em que a transição é feita por uma rampa como na figura. A vazão unitária vale q = 1,0 $m^3/(sm)$ e a altura de água y_1 = 1,0 m, adote g = 10 m/s^2. Mostre que a relação entre a altura de água y na rampa e a abscissa x é dada por: $y + 0,05/y^2 - 1,05 = -0,10x$. Usando uma planilha eletrônica mostre que a variação de y segue uma reta dada por: y = -0,1137x + 1,0004.



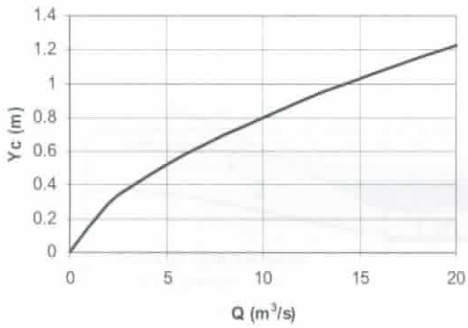
10.26 – Para uma superfície da protuberância de fundo do exercício 10.24, dada por uma senóide na forma $h(x) = \frac{\Delta Z}{2}\left[\text{sen}\,(x - \frac{\pi}{2}) + 1\right]$, em que ΔZ é a máxima elevação do fundo no ponto médio, trace o perfil da superfície livre e as linhas de energia total e específica. Dados $y_1 = 3{,}0$ m, $q = 9{,}0$ m^3/(sm), $\Delta Z = 0{,}30$ m. Sugestão: utilize o esquema numérico de 4ª ordem de Runge-Kutta com dx = 0,0024 m. Determine a altura da lâmina d'água na seção média da senóide. Qual o máximo valor de ΔZ para que as condições de montante não sejam alteradas.

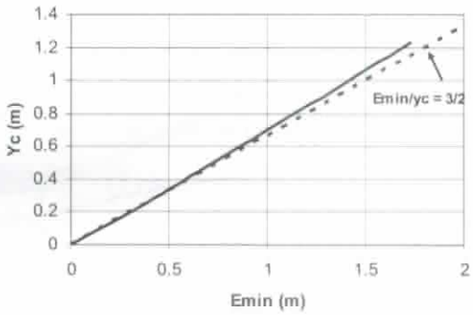
[$y_{med} = 2{,}496$m; $\Delta Z_{max} = 0{,}427$ m]



10.27 – Considere um canal trapezoidal de 4,0 m de largura de fundo e inclinação dos taludes 1H:1V. Mostre que o lugar geométrico dos pontos de mínima energia específica é uma reta, com coeficiente angular pouco maior que aquele correspondente à seção retangular que é $E_{min}/y_c = 3/2$.
Para vazões variando de 0 a 20 m^3/s faça um gráfico da curva $y_c = f(Q)$ e outro dos pontos de mínimo da curva $y_c = f(E)$.

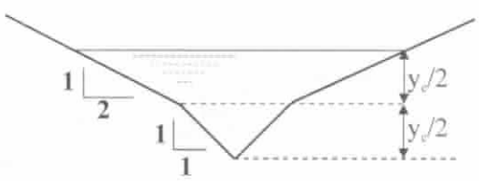
[ ]





10.28 – Determine a relação entre a altura crítica e a energia mínima y_c/E_c , para a seção mostrada na figura.

[$y_c/E_c = 0{,}827$]



10.29 – Mostre que a declividade da linha de energia, em uma seção com altura de água y e vazão Q, em um canal triangular simétrico com declividade dos taludes 1H:1V é dada por $I_f = \frac{\sqrt{2}\, f}{8}\left(\frac{y_c}{y}\right)^5$, em que f é o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach e y_c a altura crítica correspondente à vazão Q.

10.30 - Mostre que em um canal triangular simétrico, com declividade dos taludes 1H:1V em regime permanente e uniforme, o número de Froude do escoamento é dado por: $Fr = 2\sqrt{\frac{\sqrt{2}\, I_o}{f}}$, em que I_o é a declividade de fundo e f o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach.

10.31 - Mostre que em um canal circular de diâmetro D, trabalhando a meia seção em regime permanente e uniforme, o número de Froude do escoamento é dado por: $Fr = 4\sqrt{\frac{I_o}{\pi\, f}}$, em que I_o é a declividade de fundo e f o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach.

CAPÍTULO 11 – RESSALTO HIDRÁULICO

11.1 – Um ressalto hidráulico ocorre em um canal retangular e horizontal. As alturas de água antes e após o ressalto valem, respectivamente, 0,6 m e 1,5 m. Determine a altura crítica.

[$y_c = 0{,}98$ m]

11.2 – Mostre que os números de Froude nos dois lados de um ressalto hidráulico em um canal retangular e horizontal, estão relacionados pela expressão simples: $Fr_2 = Fr_1 \left(\frac{y_1}{y_2} \right)^{3/2}$.

11.3 – Um ressalto hidráulico ocorre numa bacia de dissipação horizontal a jusante de um vertedor largo, em uma seção onde a altura de água é 0,40 m e a velocidade média 12,0 m/s. Estime a profundidade e a velocidade média a jusante do ressalto, a perda de carga, a eficiência e seu comprimento.

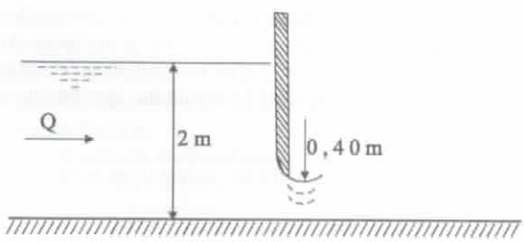
[$y_2 = 3{,}23$ m; $V_2 = 1{,}49$ m/s; $\Delta H = 4{,}386$ m; $\eta = 56{,}6\%$; $L_j = 20$ m]

11.4 – Um ressalto hidráulico ocorre em uma galeria de águas pluviais, horizontal, de diâmetro igual a 1,20 m. Antes do ressalto a altura de água é 0,60 m e imediatamente após o ressalto a seção da galeria está completamente cheia e a pressão sobre o perímetro da seção é 7 kPa. Determine a vazão. Utilize o Teorema da Quantidade de Movimento e relembre Estática dos Fluidos.

[$Q = 3{,}86$ m^3/s]

11.5 – Um canal retangular bem longo, de 4,0 m de largura é alimentado por uma comporta plana e vertical como na figura. Sendo a perda de carga na comporta igual a 5% da energia disponível a sua montante e desprezando a carga cinética de aproximação para a comporta, determine qual deve ser a declividade de fundo do canal para que a altura conjugada do ressalto, no estágio torrencial, seja 0,60 m. Coeficiente de rugosidade do canal n = 0,015.

[$I_o = 0{,}00182$ m/m]



11.6 – Um canal retangular transporta uma vazão unitária q = 7,0 m^3/(sm) e em uma certa seção a energia específica vale 4,50 m. Imediatamente a jusante desta seção deverá ser construída uma soleira elevada (degrau), para a formação de um ressalto hidráulico. Assumindo escoamento crítico sobre o degrau, determine a altura requerida pela soleira para que o ressalto se forme a montante desta.

[$\Delta Z \approx 0{,}80$ m]

11.7 – Um canal trapezoidal com largura de fundo igual a 2,0 m, inclinação dos taludes 1H:1V, transporta uma vazão de 10,0 m^3/s com uma altura de água igual a 0,50 m. Ocorrendo um ressalto hidráulico, calcule a altura conjugada no escoamento fluvial.

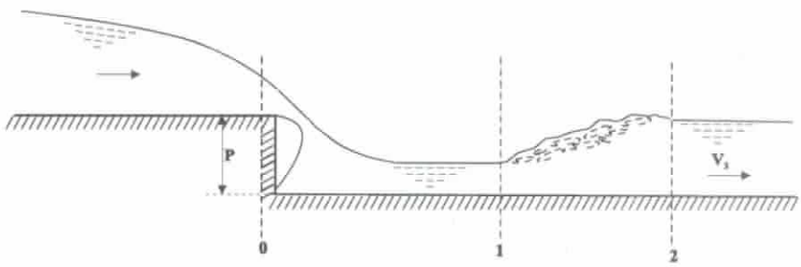
[$y_2 = 2{,}10$ m]

11.8 – Um canal retangular transporta uma vazão unitária $q = 0{,}5$ $m^3/(sm)$ e em uma determinada seção há uma soleira (degrau) de 0,25 m de altura. Ocorrendo um ressalto hidráulico imediatamente a montante da soleira determine a altura conjugada no regime torrencial.

[$y_1 \approx 0{,}10$ m]

11.9 - A estrutura de dissipação de energia mostrada na figura, a jusante de um canal de fraca declividade, tem seção retangular de 2,5 m de largura e pela qual passa uma vazão de 5,0 m^3/s. A altura de água na seção 2 é a altura normal, para uma declividade de fundo $I_2 = 0{,}1\%$ e coeficiente de rugosidade de Manning $n = 0{,}018$. Assumindo que a dissipação de energia entre as seções 0 e 1, devido à queda, seja 10% da carga cinética na seção 1, entrada do ressalto, determine a altura de queda P.

[P = 1,56 m]

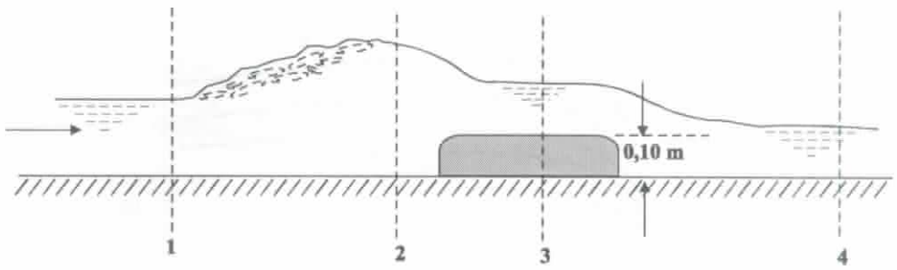


11.10 – Em um canal retangular de 5 m de largura escoa, em regime permanente e uniforme uma vazão de 16 m^3/s, com declividade de fundo $I_0 = 1$ m/km e coeficiente de rugosidade de Manning $n = 0{,}022$. Em uma determinada seção um degrau de 0,20 m de altura é construído no fundo do canal e nesta mesma seção a largura do canal é reduzida para 4 m. Desprezando as perdas de carga na transição, determine a energia específica e o tipo de escoamento a montante do degrau, a altura d'água sobre o degrau e a máxima altura do degrau para que as condições do escoamento a montante não sejam alteradas. Se a altura do degrau for superior a este limite, que fenômeno ocorrerá à jusante do degrau?

[E = 2,17 m; Fluvial; $y_{c2} = 1{,}18$ m; $\Delta Z_{max} = 0{,}40$ m; escoamento torrencial seguido de um ressalto hidráulico]

11.11 – Uma elevação de 10 cm de altura em um canal retangular e horizontal cria um ressalto hidráulico exatamente a sua montante e o padrão do escoamento é dado na figura abaixo. Desprezando as perdas de carga, exceto no ressalto e sendo a altura d'água sobre o degrau $y_3 = 0{,}30$ m, determine y_1, y_4 e V_4.

[$y_1 = 0{,}165$ m; $y_4 = 0{,}195$ m; $V_4 = 2{,}64$ m/s]



11.12 – Em um canal retangular e horizontal de 0,60 m de largura está ocorrendo um ressalto hidráulico, em uma seção onde o número de Froude é 3,0. A altura de água após o ressalto é 0,60 m. determine a perda de carga e a potência dissipada em c.v.

[ΔH = 0,22 m; Pot = 1,06 c.v]

11.13 - Mostre que a dissipação de energia ΔE devida a um ressalto formado em um canal retangular horizontal pode ser escrita de forma adimensional da seguinte maneira:

$\frac{\Delta E}{y_1} = \frac{\left(\sqrt{1+8.Fr_1^2}-3\right)^3}{16.\left(\sqrt{1+8.Fr_1^2}-1\right)}$. Esta equação demonstra o fato de que o escoamento a montante do ressalto deve ser supercrítico? Justifique. Sugestão: construa o gráfico correspondente.

[sim, em respeito à 2ª Lei da Termodinâmica]

11.14 - Com o intuito de desenvolver um programa computacional para o cálculo das características de um ressalto hidráulico formado em um canal retangular de fundo horizontal, foi estabelecida uma equação que relaciona L_j/y_2 e Fr_1 da seguinte forma: $\frac{L_j}{y_2} = \frac{Fr_1^2 + A.Fr_1 + B}{C + D.Fr_1}$, em que L_j é o comprimento do ressalto.

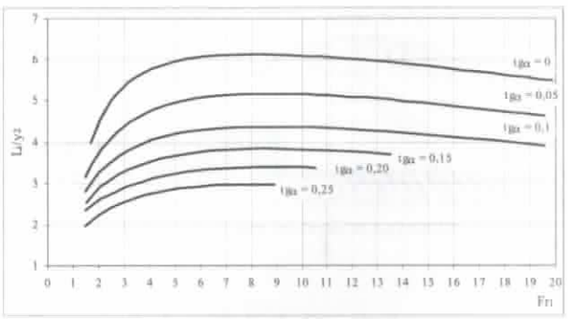
a) Por meio da Figura 11.5 do livro Hidráulica Básica p.345, obtenha quatro pares de valores (L_j/y_2, Fr_1) e determine os coeficientes A, B, C e D;

b) A equação anterior é válida para canais horizontais e com pequenas declividades. Para canais com declividades maiores, deve-se recorrer a outras curvas para o cálculo do comprimento do ressalto. Obtenha o trabalho clássico do Bureau of Reclamation (www.usbr.gov; procure a monografia número 25) e repita o procedimento do item "a" para os diferentes gráficos propostos pelo autor para a estimativa dessa variável hidráulica;

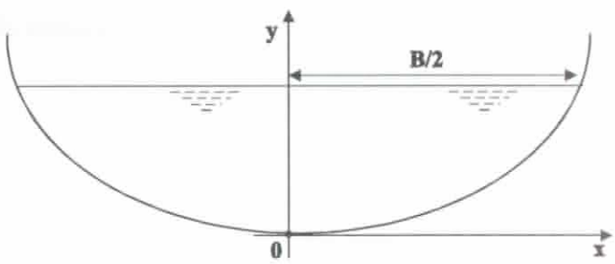
c) Construa uma tabela com os coeficientes da equação anterior para as diferentes inclinações do fundo e um gráfico com as seis curvas por meio da mesma equação. A equação fornece aproximações razoáveis das curvas encontradas nas referências citadas?

[]

tgα	A	B	C	D
0,00	-81,85	61,13	-0,62	-10,71
0,05	-69,66	19,40	-10,97	-10,07
0,10	-70,96	8,93	-15,16	-12,26
0,15	-58,50	-10,01	-21,34	-10,82
0,20	-48,29	-48,82	-36,75	-9,05
0,25	-46,02	-17,64	-27,04	-10,16



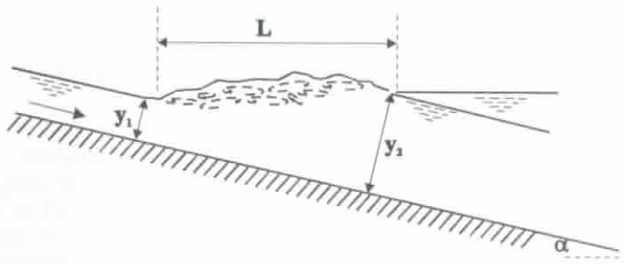
11.15 - Para o canal parabólico horizontal cuja seção reta é mostrada na figura abaixo mostre que o número de Froude do escoamento torrencial está relacionado com a relação das alturas conjugadas, $Y = y_2/y_1$, através da equação $Fr_1 = \sqrt{\frac{3}{5}\left(\frac{1-Y^{5/2}}{Y^{-3/2}-1}\right)}$. Na dedução considere que a parábola é definida por $y = a.x^2$.



11.16 – Um ressalto hidráulico ocorre em um canal retangular de grande declividade como na figura abaixo. Indique as forças que atuam na direção x. Por meio do Teorema da Quantidade de Movimento, mostre que $\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8.G^2}-1\right)$, em que $G^2 = \frac{Fr_1^2}{\cos\alpha + \frac{\psi.L.\text{sen}\alpha}{y_1 - y_2}}$. Para tanto, despreze a resistência oferecida ao escoamento, assuma que os coeficientes de Boussinesq são iguais à unidade e considere que o volume de fluido entre as seções 1 e 2 pode ser aproximado por $0{,}5.L.b.\psi.(y_1 + y_2)$ onde ψ é um fator de correção e b a largura do canal. Discuta a solução no caso particular em que $\alpha = 0$.

O uso da equação deduzida não é comum, uma vez que os termos ψ e L são desconhecidos. Deste modo, recorre-se às propostas fundamentadas em experimentos, dentre as quais se destacam os trabalhos de Kindsvater (1944), Peterka e Bradley (1957), Rajaratnam (1967) entre outros. Com o objetivo de calcular, ainda que aproximadamente, a relação y_2/y_1, Chow (1959, p.427, Fig. 15.20), baseado nos resultados de outros pesquisadores, sugere um gráfico que relaciona tal adimensional com o número de Fr_1 e com o ângulo α de inclinação do canal. Uma discussão interessante sobre o tema é encontrada nas referências mencionadas e em Vischer e Hager (1995). Obtenha o gráfico citado anteriormente e compare-o com a equação proposta:

$\frac{y_2}{y_1} = 1{,}436.Fr_1.e^{3{,}276.\alpha} - 0{,}82$, α [rad].

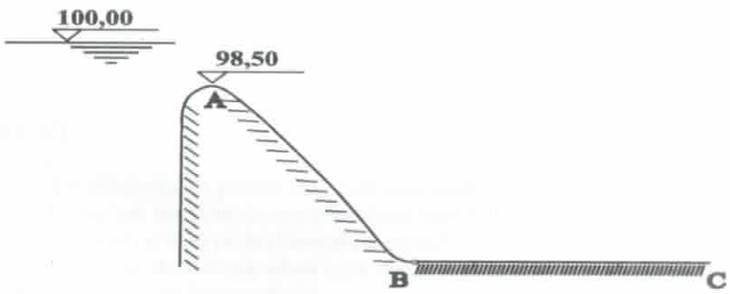


11.17 – Mostre que, para um canal retangular com número de Froude na entrada do ressalto maior que 3, a relação entre as alturas conjugadas y_1 e y_2, pode ser aproximada por: $\frac{y_2}{y_1} \cong \sqrt{2} \cdot Fr_1 - \frac{1}{2}$.

11.18 – O comprimento de um ressalto hidráulico em um canal retangular, no qual $Fr_1 = 6,5$ vale $L_j = 8,0$ m. Determine a vazão unitária.

[$q = 1,16\ m^3/(sm)$]

11.19 - Um reservatório mantido em nível constante alimenta um canal retangular de 2,0 de largura, em concreto, constituído de um trecho curto AB de forte declividade e de outro BC, longo e de fraca declividade. Com os dados da figura determine as alturas conjugadas do ressalto que se forma no trecho BC, seu comprimento e eficiência. Declividade do trecho BC, $I_o = 0,002$ m/m, coeficiente de rugosidade de Manning $n = 0,018$. Faça qualquer hipótese que achar pertinente.



[$y_1 = 0,52$ m; $y_2 = 1,71$ m; $L_j \cong 8,55$ m; $\eta = 20\ \%$]

11.20 – Mostre que os números de Froude nos dois lados de um ressalto hidráulico em um canal retangular e horizontal, estão relacionados pela expressão: $Fr_2 = Fr_1 \frac{2^{3/2}}{\left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1\right)^{3/2}}$

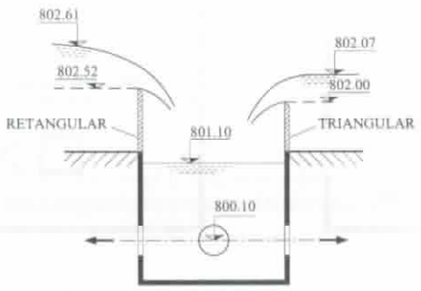
11.21 – Um vertedor de uma barragem descarrega em um canal retangular, suficientemente longo, uma vazão unitária $q = 3,1\ m^3/sm$. O canal tem declividade de fundo $I_o = 1,3 \times 10^{-4}$ m/m, revestimento de concreto em condições regulares e pode ser considerado largo. Ocorrendo um ressalto hidráulico neste canal, determine as alturas conjugadas e seu rendimento.

[$y_1 \cong 0,30$ m; $y_2 = 2,42$ m; $\eta = 57\ \%$]

CAPÍTULO 12 – ORIFÍCIOS – TUBOS CURTOS - VERTEDORES

12.1 - Um vertedor retangular de parede fina, largura da soleira L = 0,50 m, sem contrações laterais e um vertedor triangular de parede fina e ângulo de abertura 90°, descarregam certa vazão em um reservatório, como na figura. O reservatório possui trinta orifícios circulares, iguais, de parede fina e pequenas dimensões, instalados no mesmo nível 800,10 m e afastados do fundo do reservatório, descarregando livremente na atmosfera. Determine o diâmetro de cada orifício para que o nível de água no reservatório, na condição de equilíbrio, fique na cota 801,10 m.

[d = 2 cm]

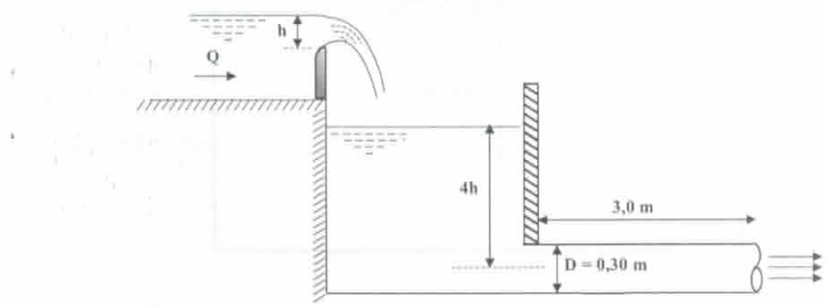


12.2 – Uma onda de cheia chega a um reservatório no qual existe uma barragem com um vertedor-extravasor, com perfil Creager (soleira normal), de 10 m de largura. No tempo t = 0 a carga h sobre a soleira do vertedor é zero e, com o passar do tempo, varia conforme a equação h = 0,03•t, com h(m) e t(horas). Admitindo um coeficiente de descarga do vertedor, médio e constante igual a C = 2,0, determine o volume de água que passou pelo vertedor após 4 horas.

[Vol = 4788,8 m^3]

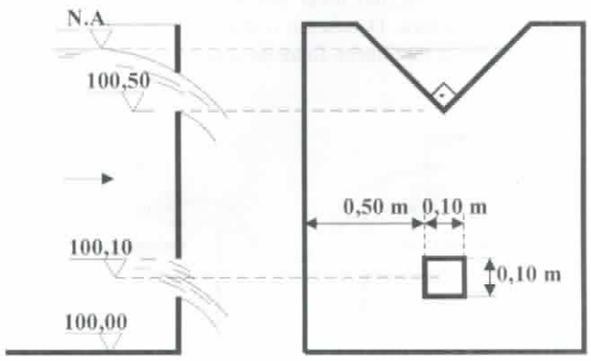
12.3 – Um vertedor retangular de parede fina, com duas contrações laterais e largura da soleira de 1,0 m, descarrega água em um reservatório que possui um bueiro de concreto com entrada em aresta viva, de 3,0 m de comprimento e 0,30 m de diâmetro, assentado na horizontal e descarregando livremente. Na condição de equilíbrio do sistema, observa-se que a carga sobre o bueiro é quatro vezes a carga sobre o vertedor. Qual a vazão descarregada?

[Q = 0,27 m^3/s]



12.4 – Na parede de um reservatório mostrado na figura há um orifício de parede fina e pequenas dimensões, quadrado de 10 cm de lado, coeficiente de vazão $C_d = 0,61$ e um vertedor triangular com ângulo de abertura de 90°. Com os dados da figura, determine a máxima vazão descarregada quando o vertedor ainda não entrou em operação e a cota do nível d'água no reservatório quando a vazão total vertida for 47 L/s.

[Q = 17,6 L/s; N.A = 100,70 m]

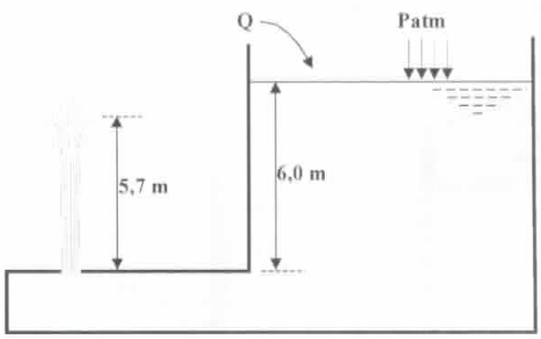


12.5 – Um orifício circular de parede delgada tem área A igual a 1 cm^2, coeficiente de contração igual a 0,60 e está submetido a uma carga hidráulica de 5 m. Sabendo-se que nestas condições de funcionamento sua perda de carga é igual a 0,10 m, pede-se: 1) o valor da velocidade real do jato na seção contraída; 2) a vazão; 3) qual será a nova perda de carga se a área do orifício for dobrada, admitindo-se os mesmos coeficientes de contração e de velocidade e a mesma carga.

[V_r = 9,8 m/s; Q = 0,59 L/s; a perda de carga é a mesma]

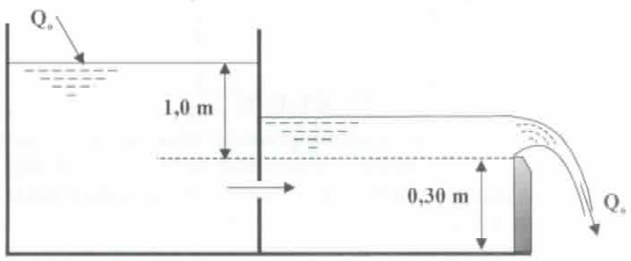
12.6 - Um jato livre, de água, é dirigido verticalmente para cima, proveniente de um orifício de parede fina e pequenas dimensões, localizado num plano horizontal, conforme a figura. Sendo o coeficiente de contração do orifício $C_c = 0,63$ e sua área 12,6 cm^2, determine a vazão para uma carga constante de 6,0 m.

[Q = 8,39 L/s]



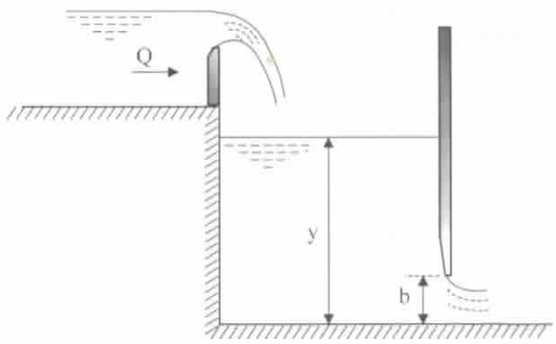
12.7 – Os dois reservatórios mostrados na figura estão em equilíbrio para uma determinada vazão de entrada. Entre os dois há um orifício circular de parede delgada e pequenas dimensões, de 10 cm de diâmetro e coeficiente de vazão $C_d = 0,62$ (já corrigido). O reservatório da direita possui um vertedor triangular de parede fina com ângulo de abertura de 90^0. Determine a vazão de equilíbrio.

[$Q_o = 19,24$ L/s]



12.8 – Na instalação mostrada na figura o vertedor é retangular, de soleira fina, com duas contrações laterais, largura da soleira L = 0,80 m e carga h = 0,20 m, e a comporta plana e vertical de largura L = 0,5 m e abertura b = 0,10 m, descarregando livremente. Determinar a carga **y** a montante da comporta.

[$y \approx 1,0$ m]

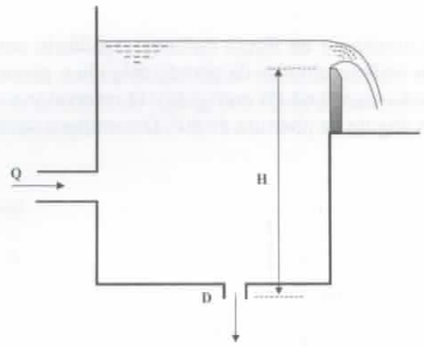


12.9 – Para garantir uma vazão praticamente constante no bocal cilíndrico externo durante as variações de entrada de água no tanque mostrado na figura, instalou-se um vertedor retangular de parede fina, sem contrações laterais e com 0,70 m de largura da soleira. A crista do vertedor encontra-se a H = 3 m da saída do bocal, colocado no fundo do tanque e com diâmetro D = 120 mm. Determinar:

a) O nível d'água no tanque para uma vazão de admissão Q = 126 L/s.
b) A máxima vazão de admissão no tanque para a qual se elimina o escoamento pelo vertedor.

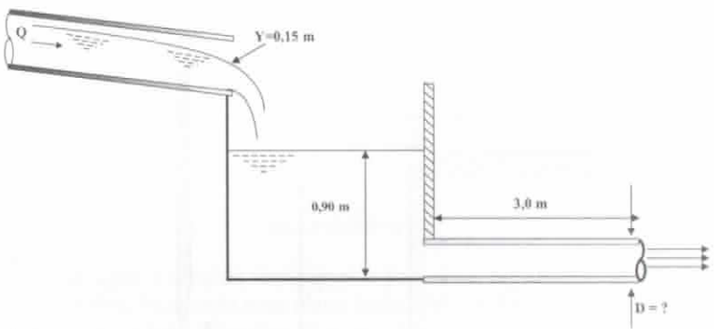
Dado: coeficiente de vazão do bocal $C_d = 0,82$. Assuma condições de equilíbrio nos dois itens.

a) [$y \approx 3,12$ m]; b) [$Q_{máx} = 71,1$ L/s]



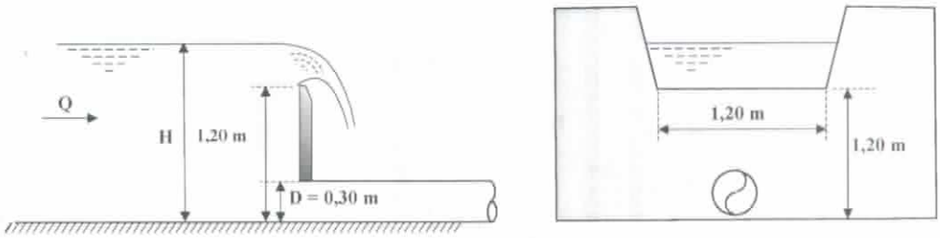
12.10 – Uma galeria de águas pluviais de 0,50 m de diâmetro e de baixa declividade descarrega em um pequeno reservatório no qual existe um bueiro de concreto com entrada em aresta viva, assentado horizontalmente no fundo do reservatório e descarregando livremente na atmosfera. A altura de água na saída da galeria é igual a 0,15 m. Com os dados da figura, determine o diâmetro do bueiro de descarga para que a altura d'água no reservatório seja de 0,90 m. Não precisa corrigir o coeficiente de vazão do bueiro de saída pelo fato da contração do jato ser incompleta.

[D = 0,15 m]



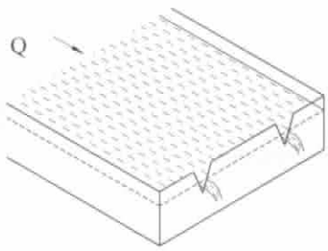
12.11 – Uma combinação de um vertedor trapezoidal tipo Cipoletti, parede fina, e um tubo curto em concreto com entrada em aresta viva, de 0,30 m de diâmetro e 12 m de comprimento, com escoamento livre a jusante é colocada em um canal retangular, como na figura. Qual a máxima vazão possível para que o escoamento passe somente pelo tubo curto? Se a vazão total descarregada pela estrutura for Q = 0,60 m^3/s, determine a profundidade H a montante da estrutura. Despreze a carga cinética de aproximação para a estrutura e não corrija o coeficiente de vazão do orifício pelo fato da contração não ser completa.

[$Q_{máx}$ = 0,208 m^3/s; H ≈ 1,50 m]



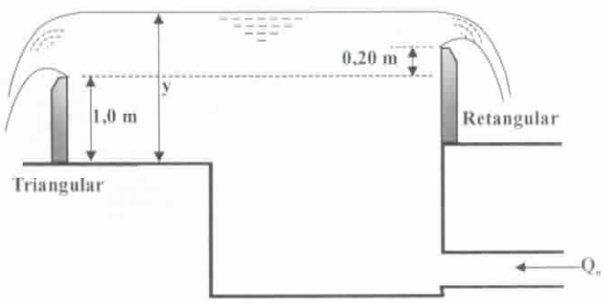
12.12 – A vazão no canal da figura varia de 40 a 120 L/s e pretende-se regular a profundidade da água pela instalação de vertedores triangulares com abertura de 90°, colocados na mesma cota, na extremidade do canal, como na figura. Quantos vertedores são necessários para limitar a variação da profundidade da água a 7,6 cm? Qual será a carga máxima sobre os vertedores? Use a fórmula de Thomson.

[4 vertedores; $H_{máx}$ = 21,50 cm]



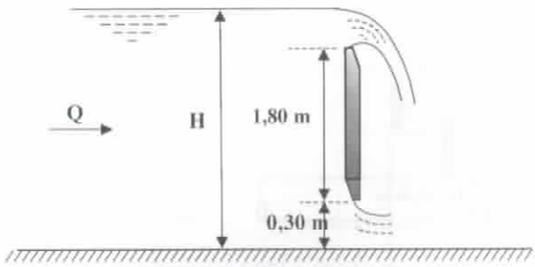
12.13 - A vazão Q_o que entra no tanque mostrado na figura é 232 L/s e verte sobre o vertedor triangular com ângulo de abertura de 90° e sobre o vertedor retangular de parede fina sem contrações laterais de 1,0 m de largura. Determinar a altura d'água y e a carga sobre cada vertedor, na condição de equilíbrio do sistema.

[y = 1,363 m; hr = 0,163 m; ht = 0,363 m]



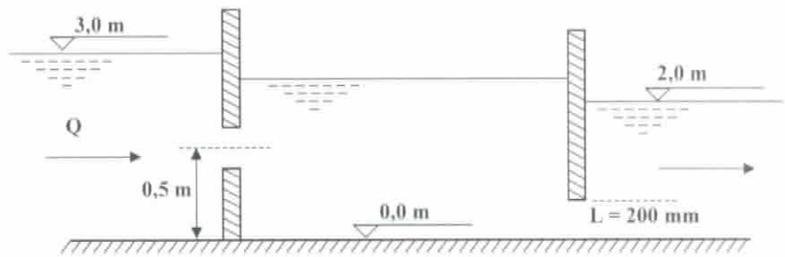
12.14 - Uma combinação de um vertedor retangular parede fina sem contrações e uma comporta de fundo, com escoamento livre a jusante é colocada em um canal retangular de 3,0 m de largura, como na figura. Qual a máxima vazão possível para que o escoamento passe somente pela comporta de fundo? Se a vazão total descarregada pela estrutura for Q = 4,0 m^3/s, determine a profundidade H a montante da estrutura. Despreze a carga cinética de aproximação para a estrutura.

[$Q_{máx}$ = 3,21 m^3/s; H = 2,33 m]



12.15 - Em uma seqüência de três depósitos ligados entre si por orifícios afogados e de paredes finas, dos quais os extremos têm níveis constantes, determine o nível d'água no reservatório intermediário e a vazão através dos orifícios quando se estabelece um escoamento em regime permanente. Admitir que os depósitos sejam de grandes dimensões e que o coeficiente de vazão dos dois orifícios, o primeiro circular de diâmetro igual a 200 mm e o segundo quadrado de lado igual a 200 mm, seja $C_d = 0,61$, independente da posição em relação ao fundo.

[N.A = 2,38 m]

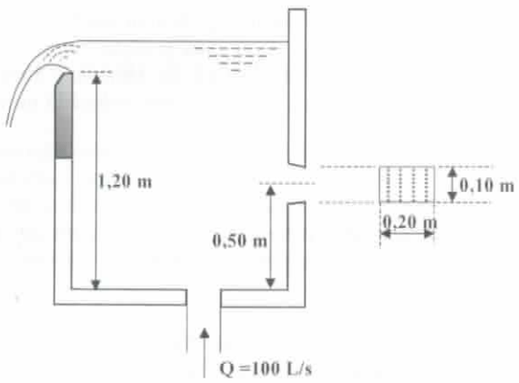


12.16 - Uma bomba recalca para um reservatório retangular uma vazão de 100 L/s. No reservatório existe um vertedor retangular de parede fina com duas contrações laterais, largura da soleira de 1,0 m e um orifício retangular (0,20 x 0,10 m) afastado das paredes laterais e do fundo do reservatório, como na figura. O orifício descarrega livremente e tem coeficiente de vazão constante e igual a $C_d = 0,60$.

a) Determinar a altura d'água no reservatório na condição de equilíbrio do escoamento.

b) Qual a mínima vazão a ser recalcada pela bomba para que o orifício ainda possa ser considerado de pequenas dimensões? Nesta situação o vertedor estará funcionando?

a) [y = 1,295 m]; b) [$Q_{min} \approx 29,1$ L/s; não]



12.17 - Uma tubulação de ferro fundido com 0,30 m de diâmetro e comprimento L = 6,0 m sai, na horizontal, de um reservatório que é alimentado com uma vazão constante Q_o e descarrega na atmosfera. Observa-se que a carga hidráulica sobre a linha de centro do tubo é H = 1,0 m. Determinar o novo valor da carga H quando se triplica o comprimento da tubulação.

[H = 1,386 m]

12.18 - Uma obra de derivação será realizada sobre um curso d´agua a montante de uma zona residencial, a fim de prevenir inundações nos períodos de cheia. A obra de derivação, figura 2, será constituída por um vertedor tipo Creager, livre, com 3 m de largura, carga de projeto h_d = 1,0 m e soleira na cota 501,0 m, colocado sobre o canal de descarga. Sobre o curso d´água a jusante a vazão será controlada por uma queda livre (seção de controle) de seção retangular com largura de 5,0 m e soleira (radier) na cota 500,0 m. Para uma altura d´água de 1,0 m sobre a soleira da queda, determine a vazão derivada pelo vertedor e a vazão a montante no rio. Despreze as cargas cinéticas de aproximação para o vertedor e a queda. Fonte: EPFL

[$Q_{derivada}$ = 2,12 m^3/s ; $Q_{montante}$ = 17,77 m^3/s]

Figura 1

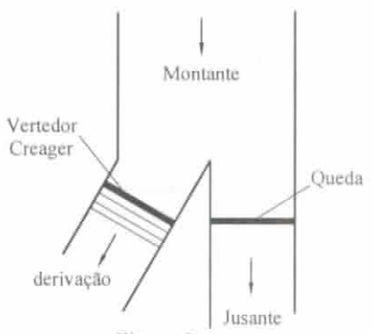


Figura 2

12.19 – Suponha um reservatório com área da superfície livre constante e igual a A, que descarrega em um vertedor-extravassor, com perfil tipo Creager, de largura L e coeficiente de descarga C, suposto constante, sem haver entrada de vazão no reservatório. Mostre que o tempo necessário para a carga h sobre a crista do vertedor passar de h_1 para h_2 é dado por: $t = \frac{2A}{CL}\left[\frac{1}{\sqrt{h_2}} - \frac{1}{\sqrt{h_1}}\right]$

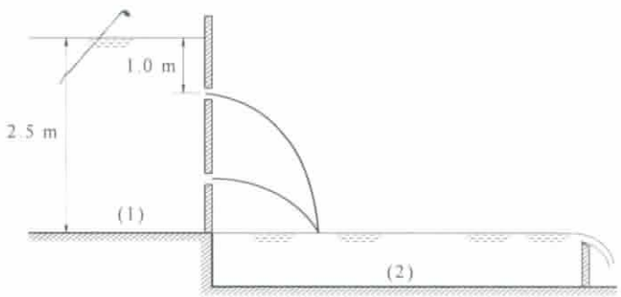
12.20 – Um tanque de gasolina na forma de um cilindro de 2,0 m de diâmetro e 4,0 m de comprimento, está com combustível na metade de seu volume total e na posição horizontal. Determine o tempo necessário para esvaziar o tanque através de um orifício de pequenas dimensões, de 7,5 cm de diâmetro e coeficiente de descarga $C_d = 0,62$, suposto constante, colocado no fundo e descarregando livremente na atmosfera.

[T = 13,4 min]

12.21 – A fórmula empírica de Francis para determinação da vazão em um vertedor retangular de parede fina, com duas contrações laterais, é dada por: $Q = 1,838\ (L - 0,2H)H^{1,5}$. Mostre que a vazão é máxima quando H = 3L.

12.22 – Dois orifícios idênticos, verticais, de pequenas dimensões, parede fina, com mesmo coeficiente de velocidade e diâmetros D = 4 cm, lançam jatos livres com o mesmo alcance no reservatório (2), sob cargas diferentes, conforme a figura. Adotando o coeficiente de vazão $C_d = 0,61$, determine a carga sobre o vertedor triangular de parede fina, com ângulo de abertura 90°, na condição de equilíbrio do sistema.

[$H_v = 0,124$ m]



12.23 – Um vertedor triangular de parede fina com ângulo de abertura 90° é usado como medidor padrão em um laboratório. Que erro na medida da vazão se comete, quando o erro na medida da carga sobre o vértice é de 0,5%? Use a fórmula de Thomson.

[Erro = 1,25 %]

12.24 – A carga sobre o vértice de um vertedor triangular de parede fina com ângulo de abertura 90° é h = 0,06 m. Que tempo levará para o nível superficial descer de 0,06 m para 0,01 m, sobre o vértice do vertedor, quando a vazão afluente se torna nula. A seção retangular da câmara de aproximação a montante do vertedor tem área horizontal de 1,0 m^2. Use a fórmula de Thomson.

[T = 443,8 s]

12.25 – Uma tubulação de ferro fundido com 0,30 m de diâmetro e 6,0 m de comprimento sai na horizontal de um reservatório, que é alimentado por uma vazão constante e descarrega livremente na atmosfera. Observa-se que o nível de água no reservatório, está h = 1,0 m acima da linha de centro da tubulação. Determinar o novo nível h quando se triplica o comprimento da tubulação.

[h = 1,38 m]

CAPÍTULO 13 – ESCOAMENTO PERMANENTE GRADUALMENTE VARIADO

13.1 – Um canal trapezoidal com largura de fundo igual a 1,0 m, taludes 1H:1V, transporta uma certa vazão, em regime uniforme, com altura d'água igual a 1,0 m e o número de Froude do escoamento igual a 0,70. Em uma certa seção existe uma barragem cujo descarregador é constituído por 3 tubos de concreto com entrada em aresta viva, de 0,60 m de diâmetro, 6,0 m de comprimento, colocados na mesma cota horizontalmente no fundo do canal e descarregando livremente na atmosfera. Determine:
a) A vazão transportada.
b) A altura d'água imediatamente a montante da barragem.
c) Ocorre um ressalto hidráulico a montante da barragem? Justifique.
d) Ocorre curva de remanso no canal? Justifique qual.

a)[$Q = 3{,}58\ m^3/s$]; b)[$y = 1{,}79$ m]; c)[Não]; d)[Curva M_1 de $y_o = 1{,}0$ m até $y = 1{,}79$ m]

13.2 - A vazão em um longo canal trapezoidal de 2,0 m de largura de fundo e taludes 2H:1V, com declividade de fundo e rugosidade constantes, é de 12,5 m^3/s. Os cálculos pela equação de Manning indicam que a altura normal, para aquela vazão, é de 1,4 m. Em uma certa seção A do canal a profundidade é de apenas 0,7 m. A profundidade do escoamento a jusante da seção A será maior, menor ou permanece a mesma? Justifique.

[Será maior]

13.3 - Em um longo canal trapezoidal com 1,0 m de largura de fundo, taludes 2H:1V, $n = 0{,}015$, $I_o = 0{,}0015$ m/m foi colocado um vertedor de parede espessa (degrau) de 0,30 m de altura, provocando o aparecimento de um ressalto a jusante e de um remanso de elevação a montante. A altura de água em cima do degrau é 0,50 m. Determinar a vazão, a altura de água antes da colocação do degrau e imediatamente a montante do degrau. Que tipo de curva de remanso se forma a montante do degrau? Qual a máxima altura do degrau para não ocorrer o remanso de elevação a montante?

[$Q = 3{,}09\ m^3/s$; $y_o = 0{,}79$ m; $y = 0{,}93$ m; curva M_1; $\Delta Z_{máx} \approx 0{,}11$ m]

13.4 – Em um canal retangular, bastante longo, com declividade de fundo $I_o = 2$ m/km, rugosidade $n = 0{,}015$ e largura 3 m existe uma comporta plana e vertical, de mesma largura do canal com carga a montante de 1,0 m e abertura de fundo 0,15 m. Suficientemente afastado da comporta há um vertedor retangular de parede fina com largura da soleira de 2,8 m e altura de 0,70 m. Verifique a possibilidade da ocorrência de um ressalto hidráulico entre a comporta e o vertedor. Se houver, calcule as alturas conjugadas. Trace o perfil da linha d'água indicando os tipos de curvas de remanso que ocorrem, bem como a altura de água próxima ao vertedor

[$y_1 = 0{,}138$ m e $y_2 = 0{,}308$ m; curva M_3 entre a comporta e o ressalto e curva M_1 de $y_2 = y_o = 0{,}308$ m até $y = 1{,}065$ m]

13.5 – Um canal trapezoidal de declividade de fundo igual a 0,0005 m/m, coeficiente de rugosidade $n = 0{,}020$, largura de fundo $b = 0{,}75$ m, inclinação dos taludes 1H:1V, transporta certa vazão com altura d'água, em regime uniforme, igual a 0,75 m. Existe uma transição passando para uma geometria circular, em concreto, $n = 0{,}014$, com diâmetro igual a 1,3 m e declividade de fundo igual a 0,030 m/m. Sendo a saída do trecho circular, livre (não submersa) determine, justificando, os tipos e curvas de remanso que ocorrem nos trechos trapezoidal e circular.

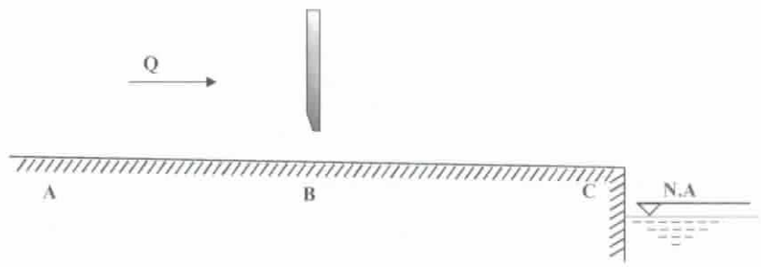
[Trecho trapezoidal curva M_2 e trecho circular curva S_2]

13.6 – Um longo canal retangular de 2,0 m de largura, declividade de fundo I_o = 0,015 m/m, coeficiente de rugosidade n = 0,018 é alimentado por um lago, cujo nível d'água se encontra a 0,90 m acima do fundo do canal na seção de entrada. Suficientemente afastado da entrada do canal existe um pequeno barramento, com três tubos circulares de concreto (bueiro) com entrada em aresta viva, de 3,0 m de comprimento e 0,60 m de diâmetro, horizontais, assentados no fundo do canal e descarregando livremente. Indique, justificando, quais as curvas de remanso que ocorrem no canal. Desenhe, esquematicamente, a linha d'água indicando as alturas conjugadas de um eventual ressalto, a carga sobre os bueiros e os níveis normal e crítico. Não precisa corrigir o coeficiente de descarga dos bueiros.

[Curva S_2 de y_c = 0,60 m até $y_o = y_1$ = 0,46 m - Ressalto – curva S_1 de y_2 = 0,766 m até y = 1,24 m]

13.7 - O canal AC, de cimento liso, n = 0,013, declividade de fundo I_o = 0,001 m/m tem seção retangular de 3,0 m de largura e transporta uma vazão de 10 m^3/s. Na seção B do canal tem instalada uma comporta plana e vertical, com coeficiente de contração 0,61. O trecho BC é suficientemente longo para que se estabeleça o regime uniforme. Determine: a) a altura d'água em C; b) a maior abertura da comporta compatível com a existência de um ressalto livre a jusante; c) a altura d'água a montante da comporta para uma abertura desta de 0,80 m; d) a curva de remanso a montante de C, justifique.

a)[y_c = 1.043 m]; b)[$b_{máx} \approx$ 1,0 m]; c)[y_1 = 3,11 m]; d)[Curva M_2 de y_o = 1,62 m até y_c = 1,043 m]



13.8 - Um pequeno canal trapezoidal com 0,5 m de largura de fundo, taludes 1H:1V, declividade de fundo I_o = 0,030 m/m, coeficiente de rugosidade n = 0,020, transporta, em regime permanente e uniforme uma vazão de 0,30 m^3/s. Em uma determinada seção existe um vertedor trapezoidal, tipo Cipoletti, com largura da soleira igual a 1,0 m e altura p = 1,0 m. Determine:

a) o tipo de declividade do canal, forte ou fraca.
b) a altura d'água imediatamente antes do vertedor.
c) ocorrendo um ressalto hidráulico a montante do vertedor, determine suas alturas conjugadas.
d) esboce o perfil da linha d'água a montante do vertedor, indicando claramente a curva de remanso que ocorre.

a)[Forte declividade]; b)[y = 1,296 m]; c)[$y_1 = y_o$ = 0,195 m e y_2 = 0,37 m] ; d)[Curva S_1 de y_2 = 0,37 m até y = 1,296 m]

13.9 - Num canal longo trapezoidal de largura de fundo igual a 1,0 m, declividade de fundo I_o = 30 cm/km, declividade dos taludes 1H:1V, em concreto n = 0,018, transportando uma vazão de 1,25 m^3/s, existe na extremidade de jusante um reservatório cuja superfície livre está na cota 2,0 m. Sendo zero a cota no ponto P, no leito do canal, e na seção de chegada ao reservatório, determine:

a) qual a curva de remanso que se estabelece a montante do reservatório?

b) ocorre um ressalto hidráulico no canal? Justifique.

a)[Curva M_1 de y_o = 1,0 m até y = 2,0 m]; b)[Não]

13.10 – Uma comporta plana e vertical descarrega água em um canal retangular de 1,50 m de largura, suficientemente longo para que se estabeleça regime uniforme, coeficiente de rugosidade n = 0,018. A comporta tem a mesma largura do canal, abertura de fundo b = 0,30 m, coeficiente de contração da lâmina C_c = 0,60, carga a montante y_1 = 1,80 m e descarrega livremente. Determine:

a) a vazão descarregada no canal
b) a energia específica disponível na seção contraída da lâmina.
c) a declividade de fundo do canal para que a altura conjugada do ressalto, a jusante da comporta, no regime torrencial seja igual a 0,25 m.
d) a perda de carga e o comprimento do ressalto
e) o tipo de curva de remanso que se forma entre a comporta e o ressalto, justifique.

a)[Q =1,47 m^3/s]; b)[E = 1,69 m]; c)[$I_o = 1{,}91 \cdot 10^{-3}$ m/m]; d)[ΔH = 0,18 m; L_j = 3,70 m]; e)[Curva M_3]

13.11 - Um reservatório descarrega água através de dois tubos circulares de concreto com entrada em aresta viva, de 3 m de comprimento e 0,30 m de diâmetro, horizontais e assentados na mesma cota, em um canal trapezoidal de 0,60 m de largura de fundo, taludes 1H:1V, declividade de fundo I_o = 0,001 m/m, n = 0,020, que termina 150 m a jusante da saída dos tubos, em uma queda brusca. A carga hidráulica sobre os tubos é H = 1,10 m. Determine: a vazão descarregada; o tipo de declividade do canal, fraca ou forte e o tipo de curva de remanso a montante da queda brusca (justifique).

[Q = 0,525 m^3/s; fraca declividade; curva M_2]

13.12 - Em um distrito de irrigação existe um canal de derivação, retangular com 1,20 m de largura, declividade de fundo 10^{-3} m/m, coeficiente de rugosidade de Manning n = 0,020, no qual há uma comporta plana, vertical, de mesma largura do canal, com abertura de fundo igual a 0,20 m e carga hidráulica imediatamente a sua montante de 1,00 m, com saída livre. Determine: a vazão veiculada, o número de Froude no escoamento uniforme e o tipo de curva de remanso a montante da comporta.

[Q = 0,578 m^3/s; Fr = 0,287; curva M_1]

13.13 - Num canal retangular uniforme longo e largo, existe uma adufa (comporta de fundo) com abertura igual a 0,50 m, transportando uma vazão unitária de 3,2 $m^3/(sm)$. O coeficiente de rugosidade de Manning vale n = 0,016 e a declividade de fundo I_o = 0,30 m/km. Admitindo-se a formação de um ressalto hidráulico e que a jusante deste ressalto o escoamento se processe em regime uniforme, determine:

a) Que tipo de curva de remanso ocorre entre a comporta e o ressalto. Justifique.
b) As alturas conjugadas do ressalto, a perda de carga e a potência dissipada por metro de largura do canal.

a)[Curva M_3]; b)[y_1 = 0,46 m e $y_2 = y_o$ = 1,92 m ; ΔH = 0,88 m ; Pot = 27,63 kW/m]

13.14 - Um canal trapezoidal longo, de largura de fundo igual a 1,0 m, inclinação dos taludes 1H:1V, n = 0,020, declividade de fundo I_o = 0,025 m/m é alimentado por um reservatório de grandes dimensões e nível constante. Sendo a vazão escoada igual a 6,3 m^3/s, determine a altura d'água na seção inicial do canal e a altura H da superfície livre do reservatório, acima da soleira de fundo da entrada do canal. Que curva de remanso ocorre na parte inicial do canal (justifique). Despreze a perda de carga localizada na entrada do canal.

[$y = y_c$ = 1,11 m; H = 1,48 m; curva S_2 de y_c até $y_o \approx$ 0,78 m]

13.15 - Um canal retangular largo, de terra com cascalho, n = 0,025, aduz uma vazão unitária de 2,0 $m^3/(sm)$, com uma declividade de fundo $I_o = 1{,}3 \cdot 10^{-2}$ m/m, em escoamento permanente e uniforme. Trata-se de uma declividade fraca, crítica ou forte? Sobre que tipo de curva de remanso nós estaremos se a profundidade local da água no canal for: a) 0,40 m; b) 0,67 m e c) 1,00 m.

[Forte declividade]; a)[Curva S_3]; b)[Curva S_2];c)[Curva S_1]

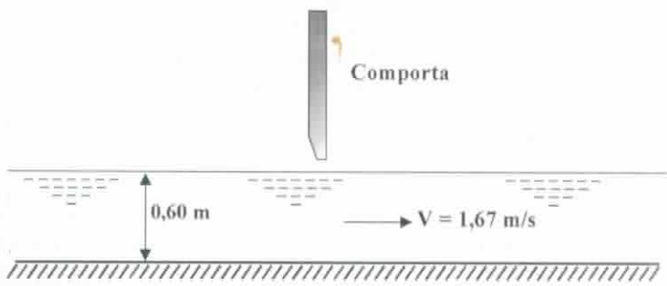
13.16 - Um reservatório descarrega água através de 2 tubos circulares de concreto com entrada em aresta viva, de 3 m de comprimento e 0,30 m de diâmetro, horizontais e assentados na mesma cota, em um canal trapezoidal de 0,60 m de largura de fundo, taludes 1H:1V, declividade $I_O = 0{,}001$ m/m, n = 0,020, que termina, 115 m a jusante da saída dos tubos, em uma queda brusca. A altura d'água imediatamente antes da queda brusca é igual a 0,35 m, determine:

a) a vazão descarregada.
b) o tipo de declividade do canal, fraca ou forte.
c) a carga H sobre os tubos.
d) o tipo de curva de remanso que se forma a montante da queda brusca. Justifique.

a)[Q = 0,526 m^3/s]; b)[Fraca declividade]; c)[H = 1,10 m]; d)[Curva M_2]

13.17 - O escoamento uniforme indicado na figura, ocorre num canal retangular muito longo. A comporta do canal é abaixada de tal forma que a abertura passa a ser igual a 0,30 m. Esboce os novos perfis da superfície que devem ser esperados, na condição de equilíbrio, e identifique as curvas de remanso a montante e a jusante da comporta. Calcule e mostre todas as profundidades significativas. Ocorrendo um ressalto determine a perda de carga. Coeficiente de contração do jato $C_c = 0{,}61$.

[Curva M_1 a montante e curva M_3 a jusante; carga na comporta y_1 = 1,86 m; altura na seção contraída $y \approx 0{,}18$ m; conjugadas $y_1 \approx 0{,}36$ m e $y_2 = y_o = 0{,}60$ m; $\Delta H = 0{,}016$ m]



13.18 – Um reservatório com nível de água na cota 101,0 m alimenta um longo canal retangular de 4,0 m de largura, coeficiente de rugosidade n = 0,020 e declividade de fundo $I_o = 0{,}001$ m/m, através de um vertedor com soleira tipo Creager desenhado para uma carga de projeto h_d = 2,0 m, de 4,0 m de largura e cota da soleira 100,0 m. Na extremidade de jusante há um descarregador constituído de 5 bueiros de 0,60 m de diâmetro e 3,0 m de comprimento, com entrada em aresta viva, assentados na horizontal e descarregando livremente na atmosfera. Determine a altura de água no pé do vertedor, cota 92,0 m, desprezando a perda de carga entre o reservatório e o início do canal e a altura de água imediatamente a montante dos bueiros. Desenhe a linha de água indicando as curvas de remanso que ocorrem e os níveis normal e crítico. Ocorrendo um ressalto hidráulico calcule as alturas conjugadas.

[$y_{pé}$ = 0,15 m ; y_b = 2,85 m ; curva M_3 de $y_{pé}$ até y_1 = 0,33 m ; ressalto ; curva M_1 de y_o = 1,41 m até y_b]

13.19 – A vazão, em regime permanente e uniforme, em um longo canal semicircular de 1,5 m de diâmetro, com declividade longitudinal $I_o = 0{,}001$ m/m e rugosidade n = 0,015 é de 0,65 m^3/s. Em uma determinada seção A do canal a profundidade é de 0,45 m. A profundidade do escoamento a jusante da seção A será maior, menor ou permanece constante?

[Será menor]

13.20 – Um canal retangular suficiente longo e largo tem coeficiente de rugosidade n = 0,020 e declividade de fundo igual a 0,001 m/m. Em uma determinada seção A existe uma mudança de declividade passando para 0,010 m/m. Em uma seção a montante e suficientemente distante de A, o número de Froude do escoamento vale 0,50. Determine, justificando, os tipos de curvas de remanso que ocorrem, indicando claramente nos dois trechos do canal as alturas normal e crítica.

[Curva M_2 e curva S_2; $y_{01} = 0{,}94$ m; $y_{02} = 0{,}47$ m; $y_c = 0{,}59$ m]

13.21 – Um canal retangular com declividade de fundo igual a 0,001 m/m, coeficiente de rugosidade n = 0,020, largura de fundo b = 1,5 m, transporta certa vazão com altura de água, no escoamento permanente e uniforme, igual a 0,80 m. Existe uma transição passando para um bueiro circular de concreto, n = 0,014, com diâmetro igual a 1,0 m e declividade de fundo igual a 0,030 m/m. Sendo a saída do bueiro livre (não afogada), determine justificando, o tipo de curva de remanso que ocorre no bueiro.

[Curva S_2]

13.22 – Em um canal retangular largo, no qual a vazão unitária é q = 1,48 m^3/sm, foram feitas duas medidas de alturas de água. A primeira na seção A foi igual a 1,44 m e a segunda na seção B, a 1 km a jusante de A foi igual a 1,50 m. Sendo a declividade de fundo do canal igual a 0,30m/1000m, determine:
a) o tipo de escoamento na seção A
b) o valor aproximado do coeficiente de rugosidade. Use valores médios da velocidade e do raio hidráulico na equação de Manning.
c) o tipo de curva de remanso no canal.

a) [Fluvial]; b) [n = 0,020]; c) [curva M_1]

13.23 – Um canal trapezoidal com largura de fundo b = 2,0 m, taludes 2H:1V, declividade $I_o = 0{,}001$ m/m e coeficiente de rugosidade n = 0,020, transporta certa vazão em regime permanente e uniforme, com altura de água $y_o = 0{,}50$ m. Em determinada seção existe uma pequena barragem de elevação, com 1,20 m de altura, 6,0 m de largura e perfil tipo Creager com coeficiente de descarga C = 2,0. Que tipo de curva de curva de remanso ocorre a montante da barragem? A que distância a montante da barragem a altura de água no canal é 1.0 m? Utilize a planilha REMANSO.XLS.

[Curva M_1; L ≈ 421 m]

13.24 – Uma comporta plana e vertical descarrega uma vazão de 10 m^3/s em um canal trapezoidal com 6,0 m de largura de fundo, taludes 1H:1V, coeficiente de rugosidade n = 0,018 e declividade $I_o = 0{,}010$ m/m. A altura de água na seção contraída na saída da comporta é 0,20 m. Determine a altura de água a 40 m a jusante da comporta e o tipo de curva de remanso no canal. Utilize a planilha REMANSO.XLS.

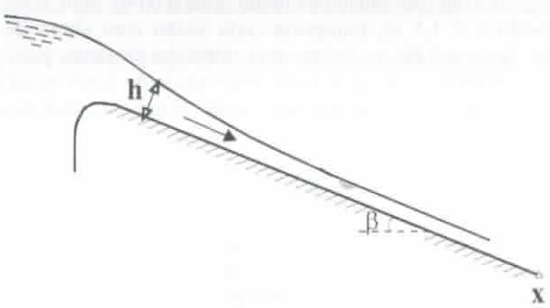
[y ≈ 0,38 m; curva S_3]

13.25 – Com os dados e resultado do Exercício 13.21 determine a que distância, a jusante da entrada do bueiro, ocorre na curva de remanso S_2, a altura de água 5% maior do que a altura normal no bueiro. Utilize a planilha REMCIRC.XLS, com um decremento $\Delta y = 0{,}01$ m.

[L = 27,7 m]

13.25 – Mostre que para um canal retangular largo de grande declividade a equação diferencial do $\frac{d\xi}{d\chi} = \frac{\xi^3 - 1}{\lambda.\xi^3 - \alpha}$. Em que $\lambda = \left(\frac{f}{8.tg\beta}\right)$, $\xi = \frac{h}{h_o}$, $\chi = sen\beta.\left(\frac{h_o}{h_c}\right)^3.\frac{x}{h_o}$ e α = coeficiente de Coriolis. Que curvas de remanso podem ser analisadas por meio desta equação? Justifique.
Utilize a equação de resistência de Darcy-Weisbach.

[S_2 e S_3]



13.26 - Mostre que para um canal retangular largo e de fundo horizontal, a solução analítica da equação diferencial do escoamento permanente gradualmente variado, usando a fórmula de Manning na declividade da linha de energia é:

$$x = \frac{3}{(n.q)^2}.\left(\frac{y_c^3.y^{\frac{4}{3}}}{4} - \frac{y^{\frac{13}{3}}}{13} + K_1\right)$$

Demonstre também que, usando a equação de Chézy e para as mesmas condições anteriores, existe a seguinte solução analítica:

$$x = \left(y_c^3.y - \frac{y^4}{4} + K_2\right).\frac{C^2}{q^2}$$

em que K_1 e K_2 são constantes de integração e q a vazão específica..

BIBLIOGRAFIA

ÁVILA, G. S – Hidráulica General – Volume I – Editorial Limusa – México – 1974.

BAPTISTA, M. M & PINTO COELHO, M.M.L - Fundamentos de Engenharia Hidráulica – Editora da UFMG – 2002 – Belo Horizonte.

BRADLEY, J. N.; PETERKA, A. J. - The hydraulic design of stilling basins: Stilling basin with sloping apron (Basin V), paper 1405, Proceedings, Journal, Vol. 83, nº HY5, *American Society of Civil Engineers,* Hydraulic Division, October, 1957.

BRITTO, F. S. R – Saneamento do Recife – Volume II - Imprensa Oficial – Recife - 1917.

CHANSON, H. – The Hydraulics of Open Channel Flow – ButterWorth-Heinemann – Londres – 1999.

CHAUDHRY, M.H. – Open-Channel Flow – 2ª ed. – Springer-Science+Business Media, LLC - New York, 2008, 523 p.

CHOW, V. T. - *Open channel hydraulics.* McGraw-Hill, New York, 1959, 680 p.

KINDSVATER, C. E. - The hydraulic jump in sloping channels. *Transactions, American Society of Civil Engineers.* V. 109, p. 1107-1120, 1944.

PETERKA, A. J. - Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Engineering Monograph nº 25, Denver Colorado, 1978.

PORTO, R.M. – Hidráulica Básica – 4ª edição – EESC/USP, São Carlos - 2006.

RAJARATNAM, N. - Hydraulic jumps. *Advances in Hydroscience 4* (V.T. Chow, editor): 197-280. Academic Press: New York, 1967.

SOUZA, PODALYRO A. DE.- Dimensionamento hidráulico de canal parabólico. Revista Politécnica, nº 190, 1985.

STREETER, V. L. & WYLIE, B. – Mecânica dos Fluidos, 7ª ed.

VENNARD, J. K. & STREET, R. L. – Elementos de Mecânica dos Fluidos 5ª ed. – Guanabara Dois – Rio de Janeiro – 1978

VISCHER, D. L.; HAGER, W. H.- Energy dissipators. Hydraulic structures design manual 9, Balkema, ISBN: 90 5410 198 9, 1995.

WHITE, F. M. – Mecânica dos Fluidos – 4ª ed. – McGraw Hill Interamericana do Brasil – Rio de Janeiro 2002.